

VŠB – Technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra mechanické technologie

Svařování pozinkovaných a austenitických plechů
v sériové výrobě

Welding galvanized and austenitic plates in the serial
production

Student: Bc. Petra Hájková

Vedoucí diplomové práce: doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.

Ostrava 2014

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta strojní
Katedra mechanické technologie

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Petra Hájková**
Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní obor: 2303T002 Strojírenská technologie
Specializace: 20 Strojírenská technologie
Téma: **Svařování pozinkovaných a austenitických plechů v sériové výrobě**
Welding Galvanized and Austenitic Plates in the Serial Production

Zásady pro vypracování:

1. Studium problematiky svařitelnosti heterogenních svarových spojů ve výrobě.
2. Analýza současného stavu procesu svařování ve výrobě.
3. Provedení heterogenních svarových spojů a jejich vyhodnocení.
4. Návrh optimalizace procesu svařování a jeho ekonomika.

Seznam doporučené odborné literatury:

TURŇA, M. *Špeciálne metódy zvarovania*. Bratislava: ALFA Bratislava, 1989, 384 s. ISBN 80-05-00097-9.
KOLEKTIV AUTORŮ. *Výroba, technická příprava výroby a kontrola svarových spojů*. (Učební texty pro kurzy IWE/IWT). Ostrava: ZEROSS, 2002, 417 s. ISBN 80-85771-97-1.
HRIVŇÁK, I. *Teoria zvariteľnosti kovov a zliatin*. Bratislava: Veda, 1989, 344 s. ISBN 80-224-0016-5.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu I.* Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. 2001, 505 s. ISBN 80-7204-193-2.
PTÁČEK, L. A KOL. *Nauka o materiálu II.* Praha: Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., 2001, 350 s. ISBN 80-7204-130-4.
HLAVATÝ, I. *Teorie a technologie svařování*. Ostrava: VŠB-TU Ostrava, 2009, poslední revize 20. 10. 2011. Dostupné z: < <http://fs1.vsb.cz/~hla80> >. ISBN 978-80-248-2414-7.

Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.

Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.**


Konzultant diplomové práce: Ing. Vladimír Stehlík

Datum zadání: 13.12.2013

Datum odevzdání: 19.05.2014



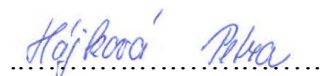

Ing. Petr Mohyla, Ph.D.
vedoucí katedry


doc. Ing. Ivo Hlavatý, Ph.D.
děkan fakulty

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracovala samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedla jsem všechny použité podklady a literaturu. [19]

V Ostravě: 19.5.2014



Podpis

Prohlašuji, že

- jsem byla seznámena s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo. [19]
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen „VŠB-TUO“) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§35 odst. 3). [19]
- souhlasím s tím, že diplomová práce bude v elektronické podobě uložena v Ústřední knihovně VŠB-TUO k nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího diplomové práce. Souhlasím s tím, že údaje o kvalifikační práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO. [19]
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona. [19]
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše). [19]
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby. [19]

V Ostravě : 19.5.2014

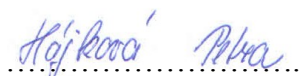
Adresa trvalého pobytu autora práce:

Bc. Petra Hájková

Medlov čp. 261

Medlov

783 91



podpis

ANOTACE DIPLOMOVÉ PRÁCE

HÁJKOVÁ, P. *Svařování pozinkovaných a austenitických plechů v sériové výrobě*: diplomová práce. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra mechanické technologie, 2014, 85 s. Vedoucí práce: Hlavatý, I.

Diplomová práce se zabývá hodnocením kvality svařované součásti. Svařenec se skládá z austenitického a pozinkovaného plechu a je proveden metodou odporového bodového svařování. Úkolem diplomové práce bylo optimalizovat proces svařování s cílem minimalizace počtu vad. V teoretické části je charakterizována metoda odporového bodového svařování a její vliv na svařitelnost jmenovaných materiálů. Experimentální část je rozdělena na dvě části. V první části je charakterizován počáteční stav svařování a vady vzorků. Druhá část se zabývá nastavením nových svařovacích parametrů a následným vyhodnocením kvality provedených svarů. V závěru práce je navržen postup zkoušení kvality svařence nedestruktivní zkouškou a možné další postupy optimalizace.

ANNOTATION OF MASTER'S THESIS

HÁJKOVÁ, P. *Welding galvanized and austenitic plates in the serial production*: Master Thesis. Ostrava: VŠB – Technical University Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Mechanical Technology, 2014, 85 pages. Thesis head: Hlavatý, I.

The master thesis deals with the evaluation of the quality of a welded component. The weldment consists of austenitic and galvanized plate and it is made using the method of point resistance welding. The task of master's thesis was to optimize the welding process in order to minimize the number of defects. The theoretical part is characterized by resistance spot welding and its effect on the weldability of these steels. Experimental part is divided into two parts. The first part is characterized by an initial state welding defects and samples. The second part focuses on the setting of new welding parameters and subsequent evaluation of the quality of the welds. In conclusion, the proposed procedure for testing the quality of weldments nondestructive examination and possible further optimization practices.

Obsah diplomové práce

Seznam použitých značení.....	8
Úvod.....	10
1 Studium problematiky svařitelnosti heterogenních svarových spojů ve výrobě .	12
1.1 Odporové svařování.....	12
1.1.1 Využití elektrického tepla ke svařování	13
1.2 Bodové svařování	13
1.2.1 Parametry odporů svařovacího obvodu	15
1.2.2 Metalurgický proces.....	16
1.2.3 Svařovací parametry.....	16
1.2.4 Tepelná rovnováha bodových svarů.....	18
1.2.5 Elektrody	19
1.2.6 Vady a zkoušky svarových spojů.....	20
1.2.7 Zkoušky pro hodnocení bodového odporového svařování.....	21
1.3 Svařování pozinkovaných plechů	21
1.3.1 Odporové bodové svařování pozinkovaného plechu	22
1.4 Svařitelnost austenitických plechů	22
1.4.1 Odporové svařování austenitických plechů	23
2 Analýza současného stavu procesu svařování ve výrobě.....	24
2.1 Typy svarových spojů	24
2.2 Svařovaný materiál DX53D (1.0355).....	25
2.3 Svařovaný materiál 1.4301.....	26
2.4 Svařovací zařízení pro odporové bodové svařování.....	27
2.4.1 Středofrekvenční svařovací zařízení	30
2.5 Konstrukce a materiál elektrod.....	30
2.5.1 Poloha elektrod při svařování	32
2.6 Počáteční parametry svařování.....	32
2.7 Destruktivní zkouška prováděná na svařenci	33
2.8 Hodnocení provedených svarových spojů	34
2.9 Zhodnocení dosažených výsledků	45
3 Provedení heterogenních svarových spojů a jejich vyhodnocení.....	47
3.1 Vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury vzorků	48
3.2 Měření mikrotvrdosti vzorků	49

3.3	Nová geometrie a materiál použitých svařovacích elektrod	50
3.4	Nastavení svařovacích parametrů na zařízení	53
3.5	Optimalizace parametrů svařování	57
3.6	Vyhodnocení svarových spojů po úpravě parametrů svařování.....	59
3.7	Hodnocení dosažených výsledků po seřízení.....	71
4	Návrh optimalizace procesu svařování a jeho ekonomika	73
4.1	Nedestruktivní ověřování kvality svarových spojů	73
4.2	Možná druhá varianta geometrie elektrod	76
4.3	Měření a kontrola přístroje.....	79
4.4	Ekonomické zhodnocení	79
4.4.1	Ekonomické zhodnocení před provedením seřízení	79
4.4.2	Ekonomické zhodnocení po seřízení.....	80
Závěr		81
Poděkování		83
Použitá literatura.....		84

Seznam použitých značení

Zkratka	Název	Jednotky
A ₁	eutektoidní teplota	[°C]
A ₃	začátek překristalizace austenitu na ferit	[°C]
F	síla	[N]
HCl	kyselina chlorovodíková	
HNO ₃	kyselina dusičná	
HV	tvrdost podle Vickerse	
I	elektrický proud	[A]
I ₁	elektrický proud primárního transformátoru	[A]
I ₂	elektrický proud sekundárního transformátoru	[A]
IQR	řízení času svařování	[m.s]
L	křivka likvidu	[-]
Q	celkové teplo	[J]
R	celkový činný odpor mezi elektrodami	[Ω]
R ₁	přechodový odpor mezi horní elektrodou a materiálem	[Ω]
R ₂	materiálový odpor svařovaného materiálu č.1	[Ω]
R ₃	přechodový odpor mezi svařovanými materiály	[Ω]
R ₄	materiálový odpor svařovaného materiálu č. 2	[Ω]
R ₅	přechodový odpor mezi dolní elektrodou a materiálem	[Ω]
R _{m1}	odpor svařovaného materiálu č.1	[Ω]
R _{m2}	odpor svařovaného materiálu č.2	[Ω]
R _p	přechodový odpor mezi svařovanými materiály	[Ω]
R _{p1}	přechodový odpor mezi elektrodou a materiálem č.1	[Ω]
R _{p2}	přechodový odpor mezi elektrodou a materiálem č.2	[Ω]
S	křivka solidu	[-]
T ₀	teplota základního materiálu	[°C]
T _t	teplota tavení	[°C]
U ₁	napětí na primárním transformátoru	[V]
U ₂	napětí na sekundárním transformátoru	[V]
d _E	průměr dotykové plochy elektrody	[mm]
d _s	délka svarové čocky	[mm]
d _t	diferenciál času	[-]

h	tloušťka materiálu	[mm]
p_s	tlak elektrody	[Pa]
s_1	tloušťka svařovaného materiálu č. 1	[mm]
s_2	tloušťka svařovaného materiálu č. 2	[mm]
t	teplota	[°C]
t_1	tloušťka svařovaného materiálu č.1	[mm]
t_2	tloušťka svařovaného materiálu č.2	[mm]
t_{A1}	eutektoidní teplota	[°C]
t_{A3}	teplota začátku překrystalizace austenitu na ferit	[°C]
t_T	teplota tavení	[°C]
α	průběh teplot po uplynutí 0,02 s	[-]
α	úhel sražení elektrod	[°]
β	průběh teplot po uplynutí 0,1 s	[-]
ρ_1	měrný odpor materiálu č.1	[kg.m ⁻³]
ρ_2	měrný odpor materiálu č.2	[kg.m ⁻³]

Úvod

Spojování jednotlivých dílů svařováním představuje v dnešní době nejrozšířenější výrobní technologii. Hlavním požadavkem na svařené díly jsou bezpečnost, spolehlivost a životnost.

Jednou ze základních oblastí zabývajících se bezpečností, spolehlivostí a životností svařenců všeobecně je kvalita návrhu a provedení. Kvalitu výrobku můžeme ovlivnit ještě před započítáním samotné výroby při zpracování projektu, výpočtu, výběru materiálu, apod. Dále v průběhu samotné výroby, kde vzniká velké riziko výskytu vady v případech, kdy je provedena špatná přejímka materiálů od dodavatele. V některých případech nejsou vady znatelné a jednotlivé odlišnosti se objevují až v průběhu výroby. Aby se minimalizoval počet vad je u odporového svařování nutné optimalizovat svařovací parametry a volit vhodnou geometrii elektrod, případně řešit použití přípravků při procesu svařování ve výrobě.

Vhodně zvolené a naprogramované svařovací parametry přispívají ke snižování počtu vad, vedou ke zvyšující produktivitě práce a zabezpečují kvalitu výroby příslušné součásti. Požadavky týkající se kvality nesouvisí pouze s nastavením potřebných parametrů. Důležité je také pravidelně provádět kontrolu svarových spojů a elektrod, kde by odhalení případných vad vedlo k výměně elektrod nebo pouze k jejich očištění a nevznikaly by případy, kde by nedokonalé spoje odhalila až další montáž.

Tato práce se zabývá odporovým bodovým svařováním pozinkovaných a austenitických plechů. Celkem se jedná o 12 odporových svarů, které jsou zhotovovány na dvou pracovištích v automatizovaném režimu. U těchto svarů nejsou zvoleny vhodné svařovací parametry a geometrie elektrod. Pro zabezpečení kvality se provádí destruktivní zkoušky, které plně neodpovídají požadavkům výroby, vznikají tak zvýšené náklady na jakost. Tohle téma je aktuální, jelikož se budou hledat nejvhodnější svařovací parametry, vhodná geometrie a materiál elektrod. V neposlední řadě se bude vyhledávat řešení, jak nahradit dosud používané destruktivní zkoušky.

V teoretické části se práce zaměřuje na obecnou studii odporového bodového svařování s ohledem na vlastnosti vstupních materiálů, zejména na svařitelnost austenitické a pozinkované oceli. Dále se popisuje vhodná volba materiálu a geometrie elektrod vzhledem k tloušťkám plechů, hodnocení vad svarových spojů, vhodná volba svařovacích parametrů.

Druhá část práce se zabývá klasifikací vad svarových spojů, svařených počátečními parametry svařování. Odhalí se nedostatky procesu, které budou v další části práce odstraněny. Klasifikace vad bude prováděna dle normy ČSN EN ISO 6520-2 a zjištěné vady přiřazeny do skupin.

Třetí část popisuje zhotovení vzorků pro následné provedení klasifikace vad. Následuje odzkoušení svařovacích parametrů, nové geometrie a materiály elektrod a nově zvolená dráha elektrod pro lepší přístup ke svařovanému bodu. U svarových spojů bude jako v druhé části provedeno hodnocení kvality a pro případné nedokonalosti budou stanoveny nápravná opatření.

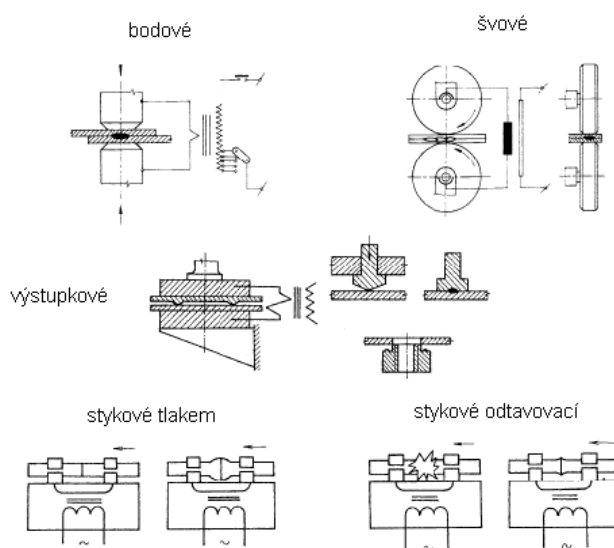
Ve čtvrté části bude provedeno zhodnocení dosažených výsledků s ohledem na ekonomiku výroby. Bude navržena nedestructivní kontrola svarových spojů. Pokud nebudou ani nové parametry optimální, provede se návrh možných dalších řešení, kterými se může proces dále zabývat.

1 Studium problematiky svařitelnosti heterogenních svarových spojů ve výrobě

Svařování austenitické oceli s uhlík-manganovou nebo nízkolegovanou ocelí je nejdůležitější a současně nejběžnější případ svařování heterogenních spojů. Obzvlášť běžným použitím je svařování nelegovaných nebo nízkolegovaných ocelí a austenitických ocelí (tyto spoje jsou někdy nazývány spoji ferit/austenit) při vyrábění různých přípojek nebo přechodů. [1]

1.1 Odporové svařování

Při metodě svařování odporem se spoj vytváří teplem vyvinutým průchodem elektrického proudu svařovanými dílci a jejich dotykem za spolupůsobení tlaku. Elektrický proud se do svařovaných částí přivádí elektrodami, vyrobenými především z mědi nebo ze slitiny mědi. Podle konstrukce, uspořádání elektrod a pracovního postupu tohoto elektromechanického procesu svařování rozdělujeme odporové svařování na následující metody (obr. 1.1): [2]



Obr. 1.1 Základní druhy odporového svařování [3]

Mezi typické vlastnosti této metody svařování patří: [2]

- rychlost svařování
- vytváření spojů bez využití přídavného materiálu
- svařování jinak obtížně svařitelných materiálů
- výhodné pro malosériovou i hromadnou výrobu

V následující tabulce 1.1 je uvedena charakteristika technologie a rozsah použití odporového svařování.

Tab. 1.1 Charakteristika technologie a rozsah použití [3]

Polohy svařování	bez omezení
Druh svařovaného materiálu	nelegované a legované oceli, hliník, měď, nikl a jejich slitiny
Tloušťka materiálu	0,4 – 10 mm
Svařovací proud	103 – 105 A
Pracovní napětí	0,5 – 30 V
Druh svařovacího proudu	střídavý (výjimečně i stejnosměrný)
Čas svařování	0,04 – 2 s
Svařovací tlak	15 – 200 MPa
Rychlost náběhu teplot	až 100 000 °C/s

1.1.1 Využití elektrického tepla ke svařování

Základem elektrického odporového svařování je soustředění vzniklého elektrického tepla do místa, které je určeno pro svařování. Proto musí mít ohřívané místo svařovaného materiálu co největší odpor a co nejmenší tepelné ztráty. Během procesu svařování se pracovní odpor i proud mění. Celkové teplo vyvinuté mezi elektrodami za čas t se dá určit dle Joulova zákona: [3]

$$Q = \int_0^t RI^2 dt [J] \quad (1.1)$$

Odpor svařovaného materiálu mezi elektrodami závisí na: [2]

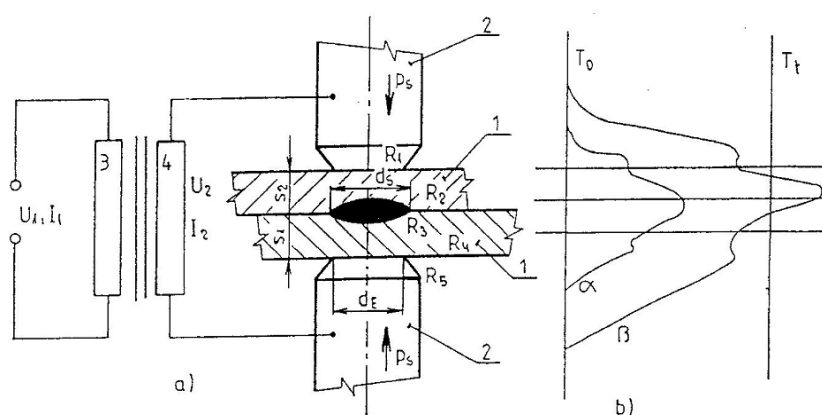
- rozměrech vodiče
- směru průchodu proudu
- měrném odporu materiálu

1.2 Bodové svařování

Bodové svařování patří k metodám odporového svařování, při kterých se svařované materiály vzájemně překrývají a stlačují mezi měděnými elektrodami.

Průchodem elektrického proudu se v místě stlačených materiálů roztaví určitý objem kovu, který po vypnutí elektrického proudu ztuhne a vytvoří svarový spoj (čočku). Svařovací transformátor je zdrojem svařovacího proudu. Proud ze sekundárního vinutí svařovacího transformátoru se přivádí do elektrod pevnými a ohebnými přívody svařovacího stroje. Průchod elektrického proudu se ovládá nejčastěji elektronicky. [3]

V případě, že má mít svar požadovanou kvalitu, musí mít svarová čočka stanovené rozměry, které závisí nejen na průměru dotykové plochy elektrod, ale i na podílu vneseného tepla při svařování. [5]



Obr. 1.2 Princip bodového svařování [3]

- a) uspořádání při svařování (1 – svařované materiály, 2 – svařovací elektrody, 3 – primární a 4 – sekundární vinutí transformátoru)
- b) průběh teplot (α – po uplynutí 0,02 s, β – po uplynutí 0,1 s)

Ze tří přechodových odporů a dvou odporů svařovaných dílů je pro vytvoření svaru podstatný odpor na styčné ploše mezi svařovanými součástmi, protože ten je podstatný pro vznik bodového svarového spoje. Kontaktní odpory mezi elektrodami a materiálem je zapotřebí zmenšit úpravou stykových ploch na minimální hodnotu a vyvinuté teplo v těchto místech odvádět chladicí vodou, aby teplota elektrodových špiček nepřekročila dovolenou mez. [2]

Na obrázku 1.2 b je znázorněn vývoj teploty při vzniku bodového svarového spoje, jsou-li vyhovující poměry jednotlivých složek elektrického odporu. Je-li svařovaný materiál znečištěn, deformován nebo jsou-li voleny nevhodné svařovací tlaky, může se svařovací teplo koncentrovat do jiného místa největšího odporu, a tím vytvořit

nevyhovující svar tam, kde ho nepožadujeme. Přitom se poškozuji elektrody nebo vznikají hluboké vtisky a deformace v okolí svaru. [2]

1.2.1 Parametry odporů svařovacího obvodu

Celkový činný odpor R z rovnice (1.1) se skládá ze součtů přechodových a materiálových odporů. [5]

$$R = R_{p1} + R_{p2} + R_p + R_{m1} + R_{m2} [\Omega] \quad (1.2)$$

R_{p1} a R_{p2} – přechodové odpory mezi elektrodami a svařovanými materiály (na obr. 1.2 odpory R_1 a R_5)

R_p – přechodový odpor mezi svařovanými materiály (na obr. 1.2 odpor R_3)

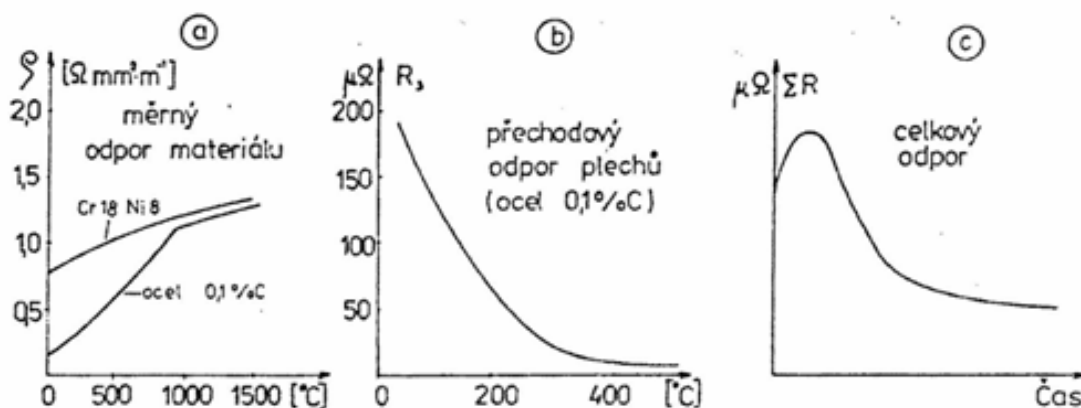
R_{m1} a R_{m2} – materiálové odpory svařovaných materiálů (na obr. 1.2 odpory R_2 a R_4)

Zmíněné odpory nejsou během svařovacího cyklu konstantní (obr. 1.3). Přechodový odpor při svařování se mění se změnou teploty v závislosti na čase svařování. [5]

Materiálové odpory svařovaných materiálů jsou funkcí měrného odporu materiálu, tloušťky materiálu a pomyslného průřezu toku elektrického proudu materiálem. Rovněž se mění s teplotou, která je funkcí času. Profil průchodu elektrického proudu je daný průřezem elektrod. [5]

Průměr elektrod se určí následovně: [3]

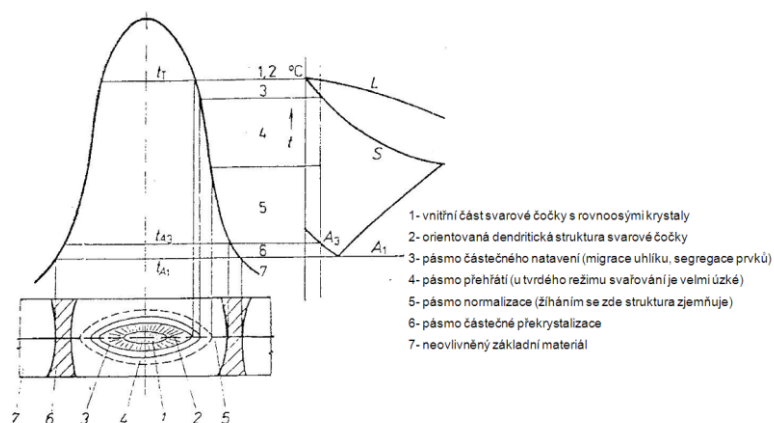
$$d = 5\sqrt{s} [mm] \quad (1.3)$$



Obr. 1.3 Změna odporu v závislosti na teplotě (a, b) a čase svařování (c) [5]

1.2.2 Metalurgický proces

Vytvoření každého bodového svaru vystihuje ohřev v omezeném prostoru až na teplotu tavení, po kterém následuje velmi rychlé ochlazení svaru s pásmem tepelně ovlivněné oblasti svařovaného materiálu. Vznik svarového spoje je patrný z obr. 1.4. [3]



Obr. 1.4 Vliv teplotního účinku svařovacího procesu na strukturu bodového svarového spoje [3]

1.2.3 Svařovací parametry

Při volbě svařovacích parametrů v praxi se používají tabulky zpracované na základě experimentálních zkoušek.

Základní parametry svařování:

- svařovací proud – I
- přítláčná síla elektrod – F
- čas svařování – t

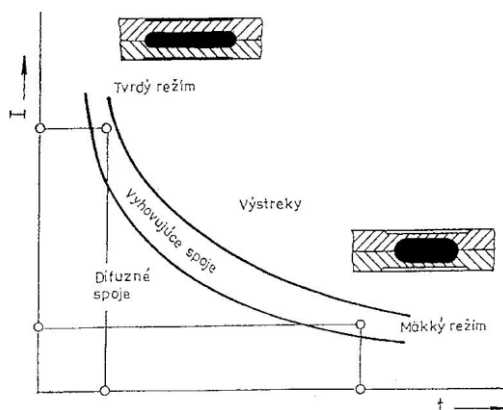
Pro jednotlivou jakost a tloušťku materiálu se uvádějí další informace jako: [5]

- doporučený průměr dosedacích ploch elektrod
- minimální vzdálenost os svaru od okraje plechu
- minimální velikost přeplátování
- minimální rozteč os sousedních svarových spojů

Ke svařovacím parametrům patří dva pracovní režimy. Měkký svařovací režim a tvrdý svařovací režim (obr. 1.5) s rozdílnými svařovacími parametry.

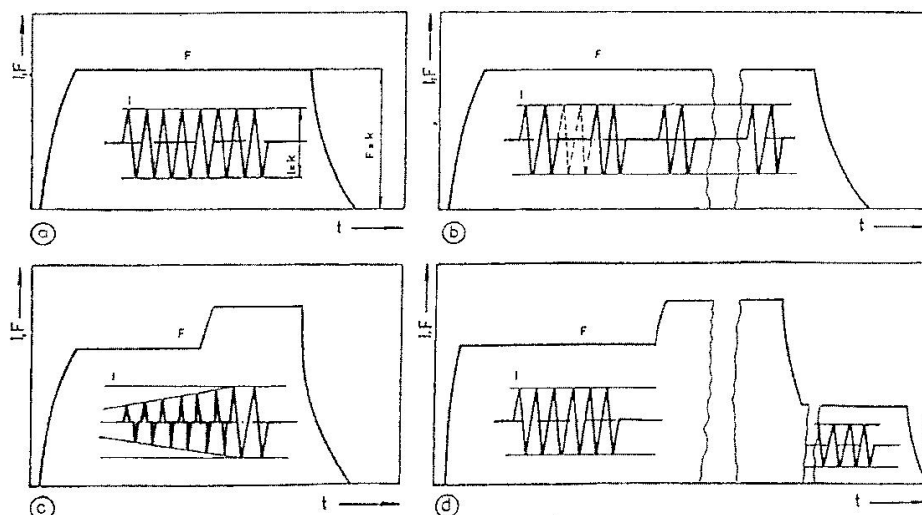
Měkký svařovací režim se vyznačuje menší hodnotou svařovacího proudu, delší dobou svařovacího času a menší přitlačnou silou. U tohoto režimu dochází k většímu tepelnému ovlivnění materiálu, k vytvoření menšího průměru svaru, velké výšky a hrubozrnné struktury svarové čocky, což zhoršuje mechanické vlastnosti svarového spoje. Svařovací elektrody jsou namáhané teplotně a tím se jejich životnost značně zkracuje. Současně zanechávají ve svařovaném materiálu hluboké vtisky. Z důvodu malé účinnosti a vyšších tepelných ztrát se zvyšuje i spotřeba elektrické energie. Tento svařovací režim se proto používá v případech, když je nutné svařit materiály náchylné na zakalení. [3]

Tvrký svařovací režim se vyznačuje vyšší hodnotou svařovacího proudu, kratším svařovacím časem a větší přitlačnou silou. Pro tuto metodu jsou charakteristické menší tepelné ztráty, vyšší produktivita práce, delší životnost elektrod, menší vtisky a menší deformace. Vytvořené svarové čocky mají větší průměr, jejich výška bývá asi 30 % celkové tloušťky obou plechů, celkové mechanické vlastnosti svarového spoje jsou lepší. Podmínkou použití je, aby svařovací stroje měly větší příkony a robustnější konstrukci pro větší přitlačné síly. [5]



Obr. 1.5 Tvrký a měkký svařovací režim [3]

Svařovací cyklus ve velké míře ovlivňuje vznik svarové čocky, metalurgické změny a konečné vlastnosti svarového spoje. Nejvíce používaný je svařovací cyklus s konstantní silou a konstantním proudem (obr. 1.6 a). Pro svaření materiálů náchylných na zakalení nebo náchylných na místní přehřátí se vedle měkkého režimu může použít i předehřev nebo dohřev (obr. 1.6 d). Další možností je aplikace pulzů v modifikovaném měkkém režimu a tím zabránění přehřátí nebo zakalení svařovaných materiálů (obr. 1.6 b). Svahový nárůst proudu a použití stlačení vyšší hodnotou síly (obr. 1.6 c). [3]



Obr. 1.6 Svařovací cyklus při bodovém svařování (I – proud, F – síla, t – čas) [3]

1.2.4 Tepelná rovnováha bodových svarů

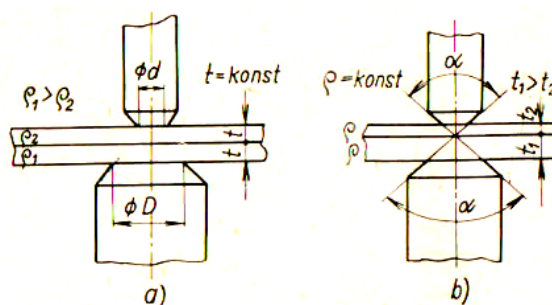
Vyhovující svarová čouka je vzhledem ke stykové rovině symetrická, její vytvoření požaduje tepelnou symetrii ve svaru. Naruší-li se tepelná rovnováha (odlišnými druhy nebo tloušťkami svařovaných materiálů, odlišnými pracovními plochami elektrod apod.), začne nerovnoměrné tepelné zatěžování plechů a tím vznik nesymetrické svarové čouky. [3]

Při odstraňování tepelné nerovnováhy bodových svarů vycházíme z rovnice pro výpočet odporu vodiče ($R = \rho \frac{\text{délka}}{\text{plocha}}$) která uplatňuje oboustranný vztah měrného odporu a rozměrů vodiče. [2]

Při svařování dvou materiálů shodné tloušťky, ale rozdílné jakosti, se tepelná nerovnováha odstraní vhodným přizpůsobením průměrů svařovacích elektrod a to tím způsobem, že na straně materiálu s větším ohmickým odporem aplikujeme elektrody s větším průměrem a na straně materiálu s nižším ohmickým odporem elektrody menšího průměru. Průměry elektrod jsou potom přímo úměrné ohmickým odporům materiálů nebo nepřímo úměrné elektrickým vodivostem obou svařovaných materiálů. Při určování průměru elektrod vycházíme z navržených hodnot pro jeden materiál a druhý průměr elektrod z nich vyvozujeme (obr. 1.7 a). [21]

Při svařování materiálů totožné jakosti, ale odlišné tloušťky, je zapotřebí srovnat zvýšený odpor vyvolaný delší dráhou proudu v materiálu s větší tloušťkou.

Za předpokladu, že se dá opomenout odvod tepla do svařovaných plechů, se navrhuje použít průměry elektrod přímo úměrné tloušťkám svařovaných plechů (obr. 1.7 b). Tato hypotéza dostatečně splňuje svařování s tvrdými svařovacími režimy, při nichž boční odvod tepla je nevýrazný. [2]



Obr. 1.7 Odstranění tepelné nerovnováhy bodových svarů [2]

U některých svarových spojů není přípustný vtisk elektrody do materiálu. V těchto případech se používají ploché elektrody, které však mohou způsobit nerovnováhu. Obdobně se rovnováha naruší při použití odlišných materiálů elektrod. Kromě toho můžeme ještě využít kombinaci různých tloušťek nebo druhů svařovaných materiálů. Odstranit tepelnou nerovnováhu je potom komplikované a vhodnost použitých opatření je pak třeba kontrolovat na příčném řezu bodového svaru. [2]

Odlišnosti v tloušťkách a jakostech svařovaných materiálů, jakož i rozdílné řešení jednotlivých svařovacích elektrod mají vliv na volbu parametrů svařování. Vychází se běžně ze směrných parametrů pro svařování plechu menší tloušťky, u nichž se však zvýší svařovací proud a svařovací čas. Jedná-li se o důležité nosné svary, nebo sériovou či hromadnou výrobu svařovaných dílů apod., je zapotřebí kontrolovat ověřovací svary destruktivními zkouškami. [2]

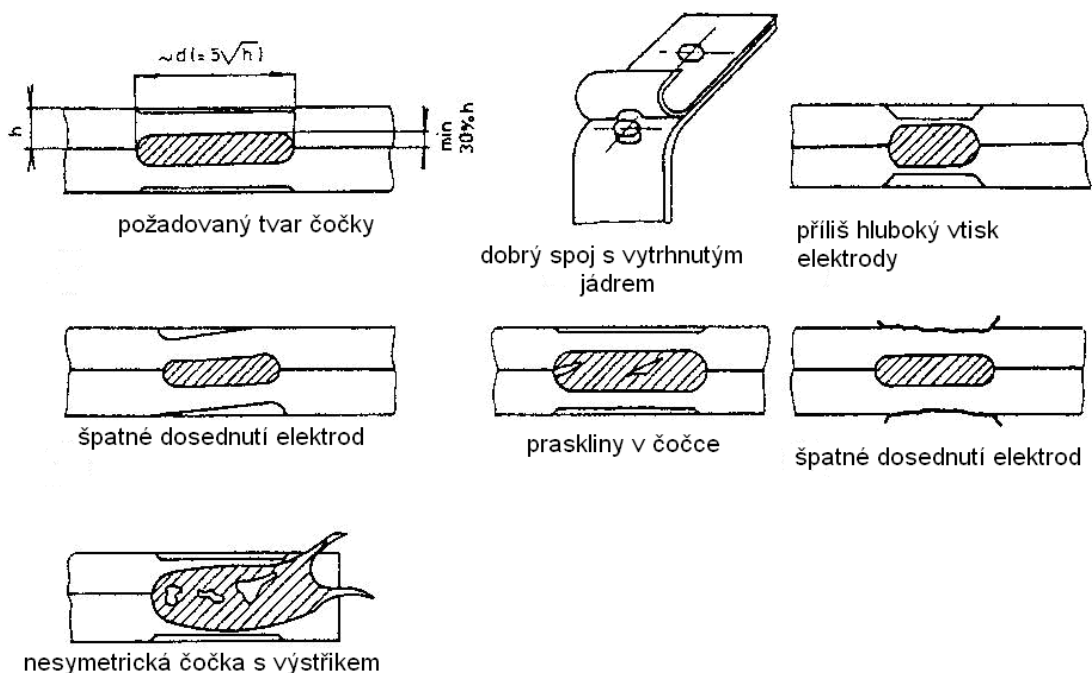
1.2.5 Elektrody

Při odporovém svařování má tvar elektrody vliv na celkovou kvalitu svarového spoje. Jsou součástí sekundárního obvodu, přivádí se jimi proud, ale zároveň se elektrodami přenáší síla do svařovaných materiálů. V tomto ohledu je důležitá jak geometrie, tak i materiál, ze kterého jsou vyrobeny. Elektrody jsou vybaveny kanály pro chladicí vodu, aby nedošlo k jejich přehřátí a následnému znehodnocení. Tvar elektrod je ovlivněn účelem použití. Existuje mnoho typů elektrod, např. přímé, tvarované nebo různě přizpůsobené svařovaným dílcům. Materiál elektrod musí mít dostatečnou odolnost proti deformacím

nejen za studena, ale i při zvýšených teplotách a musí být dostatečně odolný proti opotřebení. Dále musí mít dostatečnou elektrickou vodivost. Nejvíce používané jsou slitiny mědi s různými přísadami podle druhu svařovaného materiálu. [3]

1.2.6 Vady a zkoušky svarových spojů

Vady svarových spojů se klasifikují na základě jejich charakteru a původu jejich vzniku. U bodového svarového spoje má mít správně vytvořená svarová čočka přibližně stejný průměr jako elektroda a má být symetrická. Její výška má být nejméně 30 %, ale ne víc než 70 % tloušťky obou svařovaných materiálů. Vtisky po elektrodách mají být pravidelné a nízké. Tyto vady mohou být důsledkem nedostatku nebo přebytku energie. Častou chybou může být nadměrné opotřebení elektrod. To má za následek nedostatečné rozměry nebo nepravidelné tvary čoček, případně vznikne pouze difuzní spoj. Dalšími možnými příčinami vad příliš malých průměrů elektrod, relativně velkou přitlačnou silou nebo velmi měkkými svařovacími režimy. Nesymetrie čočky otláčky zapříčiněné špatným dosednutím elektrod a praskliny v čočkách je možné sledovat při svařování kalitelného materiálu a tvrdého režimu. Jiné vady mohou být zapříčiněny výskytem nečistot na styčných plochách, malým tlakem, chybným dosednutím elektrod nebo i deformací svařovaných plechů. Svary, které jsou příliš blízko okraje, způsobují výstřik roztaveného kovu z čočky (obr. 1.8). [3]



Obr. 1.8 Příklad dobrých a chybných svarů [3]

1.2.7 Zkoušky pro hodnocení bodového odporového svařování

Odporové svařování je výhodné pro sériovou a hromadnou výrobu, protože se dá snadno mechanizovat a automatizovat a je možno jím dosahovat nejvyšší produktivity práce. Jednou z nevýhod je nedostatek vhodných, zvláště nedestruktivních zkušebních metod pro rychlé ověření vhodnosti materiálu a kvality svarového spoje hlavně v pracovních podmínkách. [2]

Zkoušky spojů jsou převážně destruktivního charakteru nebo jako vizuální kontrola. U bodových svarů se vyhodnocuje tavný a difuzní charakter svarové čočky pomocí smykové zkoušky na trhacích strojích, eventuálně odlupovací zkoušky. Mechanickými zkouškami se určuje pevnost svaru zvláště při požadovaném způsobu namáhání. Vnější vizuální kontrola se provádí vždy a může být rozšířena o metalografické zkoušky svarových spojů. Až na výjimky se odporové bodové svary nedají kontrolovat nedestruktivními metodami a proto se na řízení kvality používá monitorování parametrů, které jsou často kombinované s mechanickými nebo metalografickými zkouškami. [5]

Nejvíce využívané zkoušky odporových svarů se dají rozdělit do čtyř skupin: [2]

- mechanické
- technologické
- metalografické
- nedestruktivní

K zabezpečení srovnatelnosti a reprodukovatelnosti výsledků je nutno zkoušet shodným způsobem, předepsaným obvykle normou. [2]

1.3 Svařování pozinkovaných plechů

Plech s ochrannou vrstvou zinku se řadí už dlouhou dobu do často používaných materiálů. Jejich využití se rozšířilo hlavně do odvětví automobilového průmyslu a bílé techniky. Zinek vytváří na povrchu oceli antikorozi ochranu.

Pozinkovanou ocel lze svařovat stejnými způsoby a stejnými metodami jako ocel bez povrchové ochrany. Pro svařování pozinkované oceli nelze však použít stejné parametry jako u materiálů bez povlaku, protože povlak vyvolává určitý rušivý efekt na průběh svařování. Velikost tohoto efektu závisí na tloušťce zinkového povlaku, složení a struktuře. [8]

Mezi hlavní problémy svařování pozinkovaných plechů patří: [8]

- větší rozstřík
- menší průvar
- intenzivnější tvorba pórů
- riziko tvorby mezikrystalických trhlin
- zvýšený vývin dýmů při svařování

1.3.1 Odporové bodové svařování pozinkovaného plechu

Při odporovém bodovém svařování pozinkovaného plechu vznikají velké problémy, které spočívají v tom, že při dotyku elektrod se zinkovou vrstvou, zinek difunduje do povrchu elektrod a vytváří mosaz. Tento jev je kontinuální, tj. obsah zinku se zvyšuje na povrchu elektrod, čím se dramaticky zvyšuje odpor mezi elektrodou a plechem. To způsobí zvýšení odporu mezi elektrodou a plechem a tím snížení odporu mezi plechy, kde je nutný k vytvoření požadovaného svaru. Následným ohřevem se dále deformuje kontaktní plocha elektrod, čímž klesá proudová hustota. Pokles kvality svarů je velmi rychlý. Řešení spočívá v tom, že se zvýší svařovací proud resp. i čas podle nastaveného programu nebo podle technologické veličiny charakterizující proces např. tepelné expanze. [6]

Všeobecně platí, že se parametry svařování jako je doba, proud a přítlak elektrod na rozdíl od oceli bez povlaku zvyšují. Parametry musí být zvoleny tak, aby se z místa kontaktu elektrody s plechem odstranila zinková vrstva, jinak dojde pouze ke spájení zinkových vrstev. Zinek má tendenci tvořit slitiny s mědí, proto je zapotřebí provádět častěji čištění elektrod než při svařování materiálu bez povlaku. Nejčastějším materiálem pro elektrody jsou slitiny mědi – chromu nebo mědi – chromu – zirkonu. Dobrých výsledků svařování je také dosaženo použitím měděné elektrody s vložkami z tvrdokovu. Pro elektrodové kontaktní špičky je volena geometrie tvaru komolého kužele s vrcholovým úhlem 120° až 140°. Velký význam pro delší životnost elektrod má chlazení. [8]

1.4 Svařitelnost austenitických plechů

Austenitická ocel je souhrnný název pro nerezavějící ocel. Tyto oceli se vyznačují obsahem minimálně 10,5% Cr a ve srovnání s nelegovanými oceli vykazují lepší odolnost proti korozi. Korozi odolnost také zvyšuje vyšší obsah Cr a další podíly

legujících prvků, jako je Ni a Mo. Dále můžeme oceli dolegovávat ještě některými jinými prvky, které pozitivně působí na vlastnosti materiálu, např.: [9]

- niob, titan – odolnost proti mezikrystalové korozi
- dusík – vyšší pevnost, korozní odolnost
- síra – dobrá obrobiteľnosť

V praxi je oblast použití austenitických ocelí rozsáhlá, proto je její svařitelnost jednou z nejdůležitějších vlastností pro její zpracování. Naproti požadovaným vlastnostem (pevnost, tažnost) svarového spoje musí korozní odolnost svarových spojů a přechodového tepelně ovlivněného místa odpovídat korozní odolnosti základního materiálu. Kvalita zhotovení svarového spoje ovlivňuje bezpečnost a životnost celé svařené konstrukce. [9]

1.4.1 Odporové svařování austenitických plechů

Svařitelnost těchto ocelí metodou odporově bodovou je značně využívána a je vhodná především pro svařování tenkých austenitických ocelových plechů. Tavení při svařování je vyvoláváno odporovým ohřevem v důsledku průchodu elektrického proudu materiálem svarku ve svaru. [10]

Při použití metody bodového svařování se rozlišují následující fáze: [10]

- ustavení plechů do polohy pro svařování
- spuštění vrchní elektrody a použití přitlačné síly
- svařování nízkonapětovým střídavým proudem, který vyrábí tepelnou energii
- udržení přitlačné síly nebo použití dodatečné pýchovací síly
- zdvihnutí horní elektrody

V porovnání s ostatními tavnými metodami svařování nemůže být při odporovém bodovém svařování tavná lázeň nastavována vizuálně. Vady, které lze vizuálně rozpoznat jsou pouze nadměrný vtisk elektrody a rozstřík na povrchu. Při zjišťování kvality provedeného svarového spoje se využívá jednoduchá destruktivní metoda tzv. odlupovací zkouška, která nám poskytuje rychlou identifikaci kvality bodového svařování. Tato zkouška je prováděna tak, že jsou od sebe svařované plechy odlupovány a svarové čocky mají tendenci být vytrženy z jednoho nebo z druhého plechů. [10]

2 Analýza současného stavu procesu svařování ve výrobě

Svařování heterogenních svarových spojů metodou odporového bodového svařování vykazuje mnoho problémů, co se týče kvality provedeného spoje.

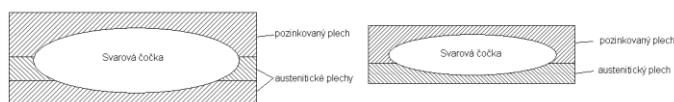
Jak už bylo zmíněno v teoretické části, u pozinkovaného plechu dochází při dotyku bodových elektrod k difundování zinku z plechu na povrch elektrod. Tímto se zvyšují odpory mezi elektrodou a plechem a dochází k tomu, že se sníží odpor mezi plechy a vytvořený svar nemá požadovanou kvalitu. Díky tomuto difundování zinku se elektrody ohřívají a následně proběhne zkracování jejich životnosti. Elektrody vydržely v procesu bodového svařování cca 2 hodiny provozu, což je spojeno s vysokou spotřebou elektrod. Další z možných příčin nedodržení kvality může být tloušťka svařovaných materiálů. Pozinkovaný plech má tloušťku 0,8 mm a austenitický plech 0,8 mm (dva austenitické plechy na sobě přivařené švově s tloušťkou 0,4 mm) s tou výjimkou, že ve dvou případech má austenitický plech tloušťku 0,4 mm. S ohledem na tento problém musí být zvoleny vhodné elektrody pro svařování.

Jako další problém, který se musí vyřešit, jsou nadměrně vysoké náklady zkoušení svarových spojů při každé výměně elektrod, cca každé 2 hodiny (šrotování svařenců). Cílem této práce je navrhnout lepší způsob zkoušení kvality svarů než dosud prováděnou destruktivní zkouškou.

V této části práce byl proveden popis svařovacího zařízení, které je využíváno pro svařování, druh použitých svařovacích materiálů, druh, geometrie a materiál elektrod, jejich ustavení vůči svařenci, svařovací parametry a způsob ověřování kvality svarových spojů. Následovalo odebrání deseti svařenců, kde bylo náátkou vybráno ze 120 bodových svarů 12, které zastupovaly každý typ svarového spoje na svařenci a u kterých bylo provedeno vyhodnocení kvality.

2.1 Typy svarových spojů

Svarové spoje na svařenci (obr 2.1) lze rozdělit na dva typy: bodový svarový spoj dvou plechů (pozinkovaný + austenitický) a bodový svarový spoj tří plechů (1x pozinkovaný + 2x austenitický).



Obr. 2.1 Typy svarových spojů na svařenci

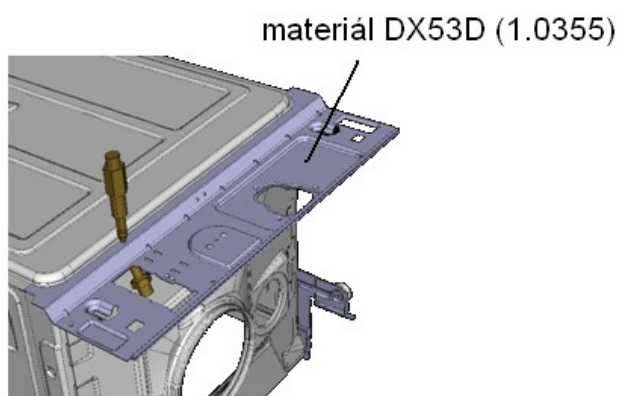
2.2 Svařovaný materiál DX53D (1.0355)

Na obrázku 2.2 je znázorněná poloha horní elektrody při svařování pozinkovaného plechu. Tabulka 2.1 informuje o označení pozinkovaného plechu, jeho tloušťce a druhu povlaku. V tabulce 2.2 je uvedeno chemické složení a v tab. 2.3 jsou zapsány mechanické vlastnosti příslušného materiálu.

Tab. 2.1 Charakteristika materiálu [11]

Označení materiálu	Tloušťka plechu	Druh povlaku
1.0355	0,8 mm	Z 100

Jedná se o měkkou ocel pro tváření za studena, která má nízký obsah uhlíku. Tento materiál se zhotovuje s různými typy zinkového povlaku, např. povlak zinku (+Z), povlak zinek-železo (+ZF), zinek-hliník (+ZA), slitina hliníku-zinku (+AZ), hliník-křemík (+AS). [7]



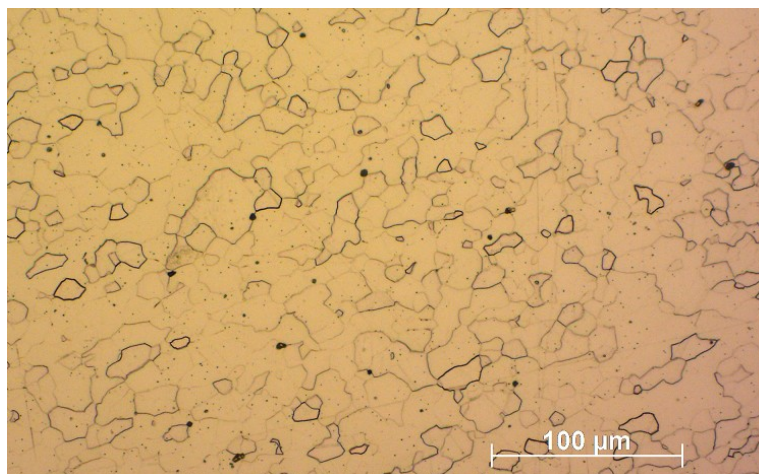
Obr. 2.2 Svařenec ze strany od pozinkovaného plechu

Tab. 2.2 Chemické složení slitiny DX53D dle DIN EN 10346 [11]

Název prvku	C	Si	Mn	P	S	Ti
Max. obsah [%]	0,12	0,5	0,6	0,1	0,045	0,3

Tab. 2.3 Mechanické vlastnosti slitiny DX53D dle DIN EN 10346 [11]

Rm [MPa]	Re [MPa]	A [%]
270 - 380	140 - 260	min. 30

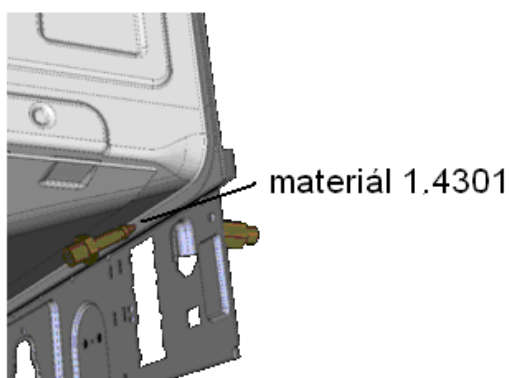


Obr. 2.3 Mikrostruktura pozinkovaného plechu DX53D

Na obrázku 2.3 je znázorněna mikrostruktura pozinkovaného plechu při zvětšení 200x.

2.3 Svařovaný materiál 1.4301

Jako druhý svařovaný materiál byla použita austenitická ocel 1.4301 s tloušťkou 2x0,4 mm (ve dvou případech 1x0,4 mm). Obrázek 2.4 zachycuje svařenec z pohledu od austenitického plechu s polohou spodní elektrody. V tabulce 2.4 je uvedeno chemické složení materiálu a v tab. 2.5 a 2.6 jeho mechanické a fyzikální vlastnosti.



Obr. 2.4 Svařenec z pohledu od materiálu 1.4301

Tab. 2.4 Chemické složení austenitické oceli v [%] dle EN 10088 [9]

Označení dle DIN	Materiálové číslo	C	Cr	Mo	Ni	Ostatní
X5CrNi18-10	1.4301	≤ 0,07	17,0 – 19,5	-	8,0 – 10,5	N ≤ 0,11

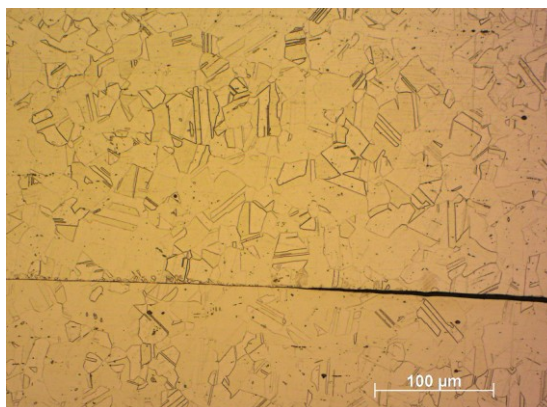
Tab. 2.5 Mechanické vlastnosti normované austenitické oceli dle EN 10088 [9]

Mez 0,2 % [N/mm ² min]		Pevnost v tahu [N/mm ²]	Tažnost [%] min. napříč
podélně	napříč		
230	260	540/750	45

Tab. 2.6 Fyzikální vlastnosti materiálu dle EN 10088 [9]

Měrná hmotnost	Tepelná roztažnost mezi 20°C a		Tepelná vodivost při 20°C	Měrná tepelná kapacita při 20°C	Elektrický odpor při 20°C
	100°C	400°C			
Kg/dm ³	10K ⁻¹		W/(m x K)	J/(kg x K)	W x mm ² /m
7,9	16,0	17,5	15	500	0,73

U fyzikálních vlastností (tab. 2.6) je zapotřebí si povšimnout větší tepelné roztažnosti a menší tepelné vodivosti austenitických ocelí. Dále stojí za zmínku jejich elektrický odpor, který je vzhledem k jejich obsahu legur vyšší, než u nelegovaných ocelí. [9]



Obr. 2.5 Mikrostruktura austenitické oceli 1.4301

Na snímku (obr. 2.5) lze pozorovat austenitickou mikrostrukturu s typickými žíhacími dvojčaty (dvojce rovnoběžek).

2.4 Svařovací zařízení pro odporové bodové svařování

Svařovací zařízení, na kterém se zhotovují bodové svary je od německé firmy Conntronic (obr. 2.6). Celkem se skládá z 6 jednotlivých stanic, na kterých se provádí různé svařovací a manipulační operace. V tabulce 2.7 jsou uvedeny technická data svařovaného zařízení. Tabulka 2.8 vyjadřuje obsah řídicí jednotky svařovacího zařízení.

Odporové bodové svařování se provádí na stanici č. 5, která se skládá z: [13]

- taktovacího pásu pro plechový kryt
- dočasného odkládání
- manipulačního robotu pro plechový kryt
- polohování svařence
- 2 kusů MF svařovacích kleští
- 2 kusů CD svařovacích kleští

Přiřazení bodových svarů a sled operací

MF svařovací kleště 1 vlevo	MF svařovací kleště 2 vpravo
svarový spoj 1 – svařovací program 1	svarový spoj 10 – svařovací program 10
svarový spoj 2 – svařovací program 2	svarový spoj 6 – svařovací program 6
svarový spoj 3 – svařovací program 3	svarový spoj 7 – svařovací program 7
svarový spoj 4 – svařovací program 4	svarový spoj 8 – svařovací program 8
svarový spoj 5 – svařovací program 5	svarový spoj 9 – svařovací program 9
svarový spoj 11 – svařovací program 11	svarový spoj 12 – svařovací program 12

Tab. 2.7 Technická data svařovacího zařízení [13]

Prostorová náročnost:	
- šířka [mm]	14 500
- hloubka [mm]	13 700
- výška [mm]	4 700
Napájecí napětí [V]	3x 400
Síťové napětí [Hz]	50
Pomocné napětí [V]	24
Hluk [dB]	≤ 75
Doba tlaku [s]	< 30
Disponibilita stroje	95%



Obr. 2.6 Svářečka od firmy Conntronic

Tab. 2.8 Řídící jednotka zařízení se skládá z následujících částí [13]

SPS	Siemens SPS, S7 416-2 DP
Ovládací panel	<ul style="list-style-type: none"> - 3x MP370 – dotykový panel - Sériová sběrnice DP - AS-i sběrnice - AS-i Safety – sběrnice
Robot	fa. Adept
Řídící jednotka	HWH CD – conntronic

Spotřeba energie: [13]

- filtrovaný, suchý vzduch 75 m³/h
- provozní tlak stlačeného vzduchu 6 bar
- elektrické napájení: 3 x 400 V/50 Hz:
 - výkon 1 : 35 kVA, jištění 125 A
 - výkon 2 : 50 kVA, jištění 125 A
 - výkon 3 : 200 kVA, jištění 500 A

Zařízení, které bylo používáno pro odporové svařování, má středofrekvenční inverter, ke kterému jsou přiřazeny obě MF svařovací kleště. Změna MF svařovacích parametrů (středofrekvenční svařovací parametry) se zadává, resp. mění za pomoci softwaru Pegasus od firmy HWH, který je nainstalován na počítači robotu. [13]

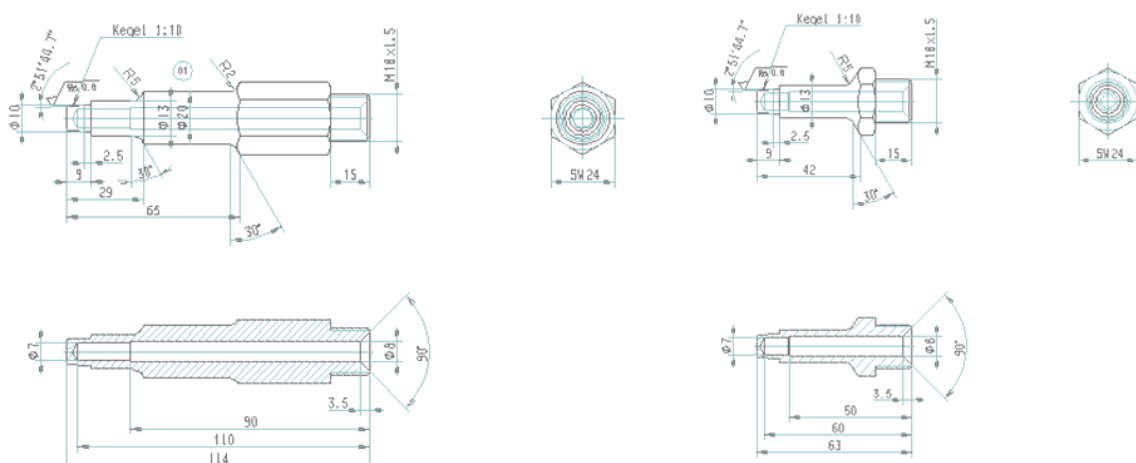
2.4.1 Středofrekvenční svařovací zařízení

Středofrekvenční odporové svařování v současnosti představuje vyšší stupeň jakosti odporového svařování. Středofrekvenční odporová svářečka má přednosti stejnosměrného svařování, stejnoměrný odběr elektrické energie z napájecí sítě a nižší zátěž jednotlivých fází elektrické přípojky. Z pohledu jakosti svařování, klidného průběhu svařování, úspor elektrické energie a delší doby životnosti svařovacích elektrod se tato svařovací technologie používá pro odporové svařování pozinkovaných plechů. Předpoklad pro kvalitní svar je dodržení svařovacích podmínek, jako je zabezpečení čistého povrchu materiálu, zbaveného okují, rzi, mastnoty, nevodivé povrchové ochrany a nečistot. [4]

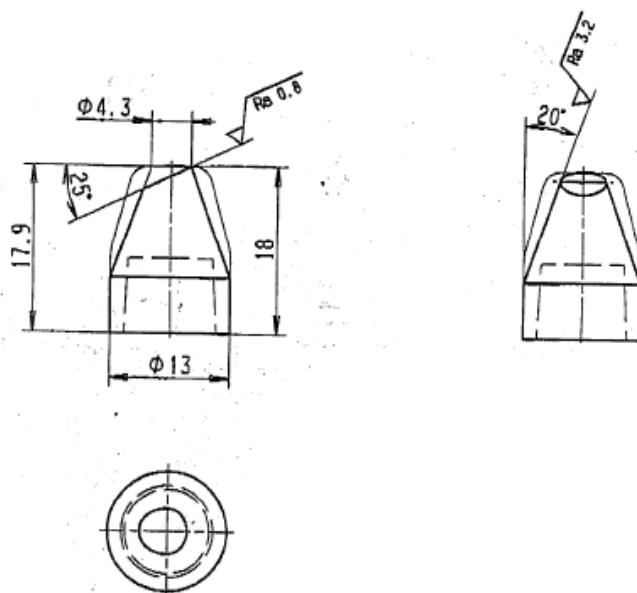
2.5 Konstrukce a materiál elektrod

Elektrody, kterými bylo doposud svařováno, byly navrženy geometrii pro výrobu bodového svaru pro případ odpovídající svařovanému svařenci. Tím se má na mysli to, že spodní elektroda musí mít geometrii komolého kužele, aby se dostala celou plochou naproti vrchní svařovací elektrodě. Spodní elektroda byla vyrobena z vrchní elektrody, jak je vidět na obr. 2.8. Materiálem pro výrobu byla použita slitina měď – chrom – zirkon. Tabulka 2.9 uvádí chemické složení materiálů elektrod.

Pro výrobu se používají výměnné elektrody, ke kterým je zapotřebí držák (obr. 2.7) opatřený vnitřním chlazením. Plocha pro upnutí elektrody je v tomto případě kuželová, proto i vnitřní plocha výměnné elektrody musí být kuželová.



Obr. 2.7 Držák pro výměnné elektrody [14]



Obr. 2.8 Tvar spodní i horní elektrody používané pro svařování [14]

Tab. 2.9 Chemické složení elektrod [20]

Ozn. materiálu		Složení [%]					Hust. g/cm ³	Elektrická vodivost	
Zkr.	Číslo	Cu	Cr	Fe	Si	Zr		MS/m	% IACS
CuCr1Zr	CW106C	zbytkový	0,5 – 1,2	0,08	0,1	0,03 – 0,3	8,9	46	79

Při porovnání nových a opotřebovaných elektrod (obr. 2.9) lze stanovit hodnotu maximálního poškození elektrod způsobenou ulpíváním zinku na elektrodách. Tento negativní jev má za následek nízkou životnost elektrod. K tomuto jevu bude při seřízení přihlédnuto a bude se snažit odstranit pomocí nově navržené geometrie elektrod a zvolení vhodnějších svařovacích parametrů.

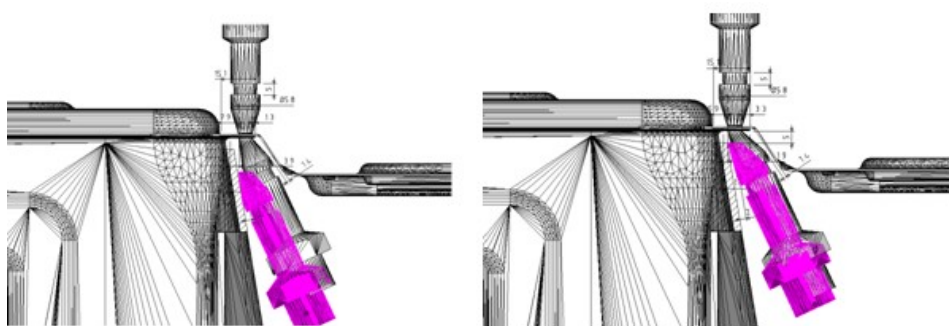


Obr. 2.9. Nové a opotřebované svařovací elektrody

U spodní elektrody je nevýhodou zešíkmená plocha (obr. 2.10). I když tato elektroda dokáže vytvořit kvalitní svarové čočky, její nevýhoda spočívá v geometrii. Elektrody pro bodové svařování jsou nasazovány na kuželovou plochu, na které nejsou žádné zarážky, podle kterých by seřizovači poznali, jestli je elektroda ve stále stejné pozici. Proto je pro tento případ bodového svařování lépe použít svařovací elektrody s dotykovou zakulacenou plochou, u kterých by nebylo rozhodující její nasazení na kuželovou plochu.

2.5.1 Poloha elektrod při svařování

Jedním z požadavků odporového bodového svařování pro vyhovující kvalitu spoje z pohledu použitých elektrod je optimální přístup elektrod ke svařovanému místu. V opačném případě hrozí vysoké riziko vzniku kolize spodní elektrody a svařovaného materiálu. Z tohoto důvodu bylo navrženo posunutí elektrody o 5 mm. S posunem spodní elektrody došlo i k posunutí horní elektrody, aby dosedací plochy elektrod byly proti sobě (obr. 2.10).



Obr. 2.10 Původní poloha svařovacích elektrod na součásti [14]

2.6 Počáteční parametry svařování

Součást určená pro odporové bodové svařování se skládá z 12 bodových svarů (obr. 2.11), pro které nebudou svařovací parametry totožné. Součást, která se svařuje má ještě jednu zvláštnost, že na dvou místech jsou pouze dva plechy (pozinkovaný a austenitický) v porovnání s ostatními, které se skládají z tří (2x austenitické plechy, na které se přivařuje 1x pozinkovaný plech). Tabulka 2.10 a 2.11 uvádí počáteční svařovací parametry.



Obr. 2.11 Svařenec s vyznačenými bodovými svary

Tab. 2.10 Svařovací parametry – Hlavní strana

Ozn.	Zákl. proud	I posl. vstřík	IQR čas	Pozdější maximum	Agrasivita na 100 m.s	Zvýš. proudu až o	Sníž. proudu	Energ.
	kA	kA	m.s	m.s	%	kA	kA	W.s
1.	7	6,67	140	140	200	8,40	30	1100
11.	4	4,73	140	140	200	4,80	30	1000
2.	4	4,86	140	140	200	4,80	30	1000
3.	4	4,80	140	140	200	4,80	30	1000
4.	4	4,84	140	140	200	4,80	30	1000
5.	4	4,37	140	140	200	4,80	30	1000
6.	4	4,16	140	140	200	4,80	30	1000
7.	4	4,46	140	140	200	4,80	30	1000
8.	4	4,34	140	140	200	4,80	30	1000
9.	6,5	7,26	140	140	200	7,80	30	1100
12.	6	6,04	150	150	200	7,32	30	1300
10.	10	6,11	150	150	200	7,32	30	1300

Tab. 2.11 Svařovací parametry – Omezení

Ozn. svaru	Výkon			Proud/Napětí			Detekce vstříku					Max. čas
	Omezení P	Omezení doba	P poslední vstřík	max. Proud	min. Napětí	max. Napětí	Start čas	Stop čas	U	v	Proud po rozstříku	
	kW	m.s	kW	kA	V	V	m.s	m.s	%	m.s	%	
1.	8,80	140	0,02	15	0,50	10	20	168	10	4	85	268
11.	8,0	140	7,93	15	0,50	10	20	168	10	4	85	218
2.	8,50	140	8,29	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
3.	8,30	140	8,00	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
4.	8,00	140	7,75	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
5.	7,80	140	7,70	15	0,5	10	20	168	10	4	85	218
6.	7,80	140	7,07	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
7.	7,30	140	7,77	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
8.	7,30	140	7,94	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
9.	7,00	160	10,32	15	0,5	10	20	168	10	4	85	268
12.	9,50	140	12,19	20	0,5	10	20	168	10	4	85	230
10.	7,00	140	5,52	20	0,5	10	20	168	10	4	85	230

U všech svařovaných bodů je tlak přitlaku elektrod 0,38 MPa.

2.7 Destruktivní zkouška prováděná na svařenci

Pro zabezpečení kvality se provádí destruktivní zkouška, která plně neodpovídá požadavkům výroby a standardnímu zkoušení odporových svařových spojů.

Tato destruktivní zkouška (obr. 2.12) bude nahrazena zkouškou nedestruktivní, aby nevznikaly vysoké náklady na likvidaci při destruktivním zkoušení dílů.



Obr. 2.12 Destruktivní zkouška svařence

Touto zkouškou se zjišťuje, zda jsou bodové svary vyhovující. Za vyhovující je považován ten, u kterého více jak polovina svarů po provedeném zatížení nebyla poškozena (obr. 2.12). Zatížení bylo přizpůsobeno podle následné manipulace se svařencem. Destruktivní zkouška se provádí vždy při výměně svařovacích elektrod. Celou destruktivní zkoušku provádí obsluha zařízení. Svařovací elektrody, kterými jsou prováděny svary, mají životnost cca 2 hodiny.

Postup destruktivní zkoušky svařence:

Nejdříve se svařenec vyjme z výrobní linky. Následně na to pracovník obsluhy zařízení uchopí za přivařený pozinkovaný plech a začne ho ohýbat (viz. obr. 2.12). Napřed na jednu a potom na druhou stranu. Tento úkon provádí přibližně 5x za sebou. Následuje vizuální hodnocení zda-li nedošlo k poškození svarových spojů. Destruktivní zkouška se hodnotí za vyhovující, pokud více jak polovina svařených bodů vydržela proces zkoušení.

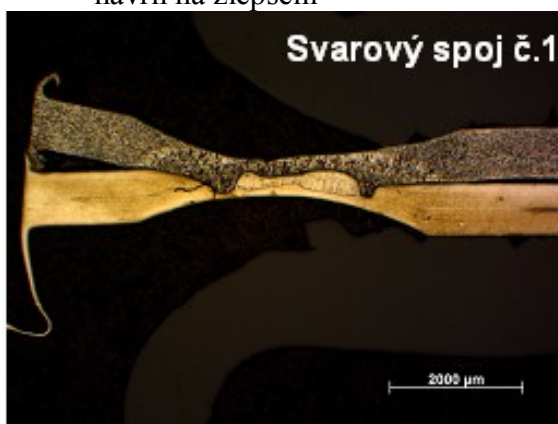
2.8 Hodnocení provedených svarových spojů

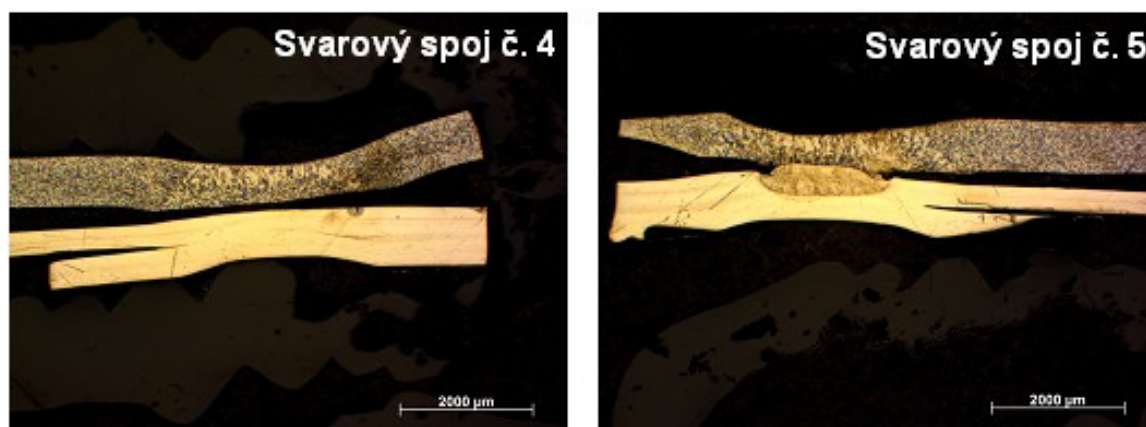
Jak již bylo zmíněno, jedná se o 12 odporových bodových svarů. V této části bylo u svaru provedeno vyhodnocení z hlediska kvality provedení dle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Všechny svary prošly destruktivní zkouškou, proto se na některých snímcích mohou objevit přes čočku trhliny. Důležité je upozornit na to, že pro schválení procesu svařování musí svar vydržet destruktivní zkoušku. Tento svar je pouze montážní, tudíž na něj nejsou kladeny žádné větší nároky. Na obrázku 2.13 a 2.14 jsou znázorněny makrostruktury jednotlivých svarových spojů. Následně v tabulkách 2.12 a 2.13 jsou zapsány hodnoty průměru vtisku elektrody odměřené před řezem na obouh svařených materiálech. Obrázek 2.15 zachycuje průběh mikrotvrdosti svarových spojů a hodnoty mikrotvrdosti jsou zapsány do tabulky 2.14.

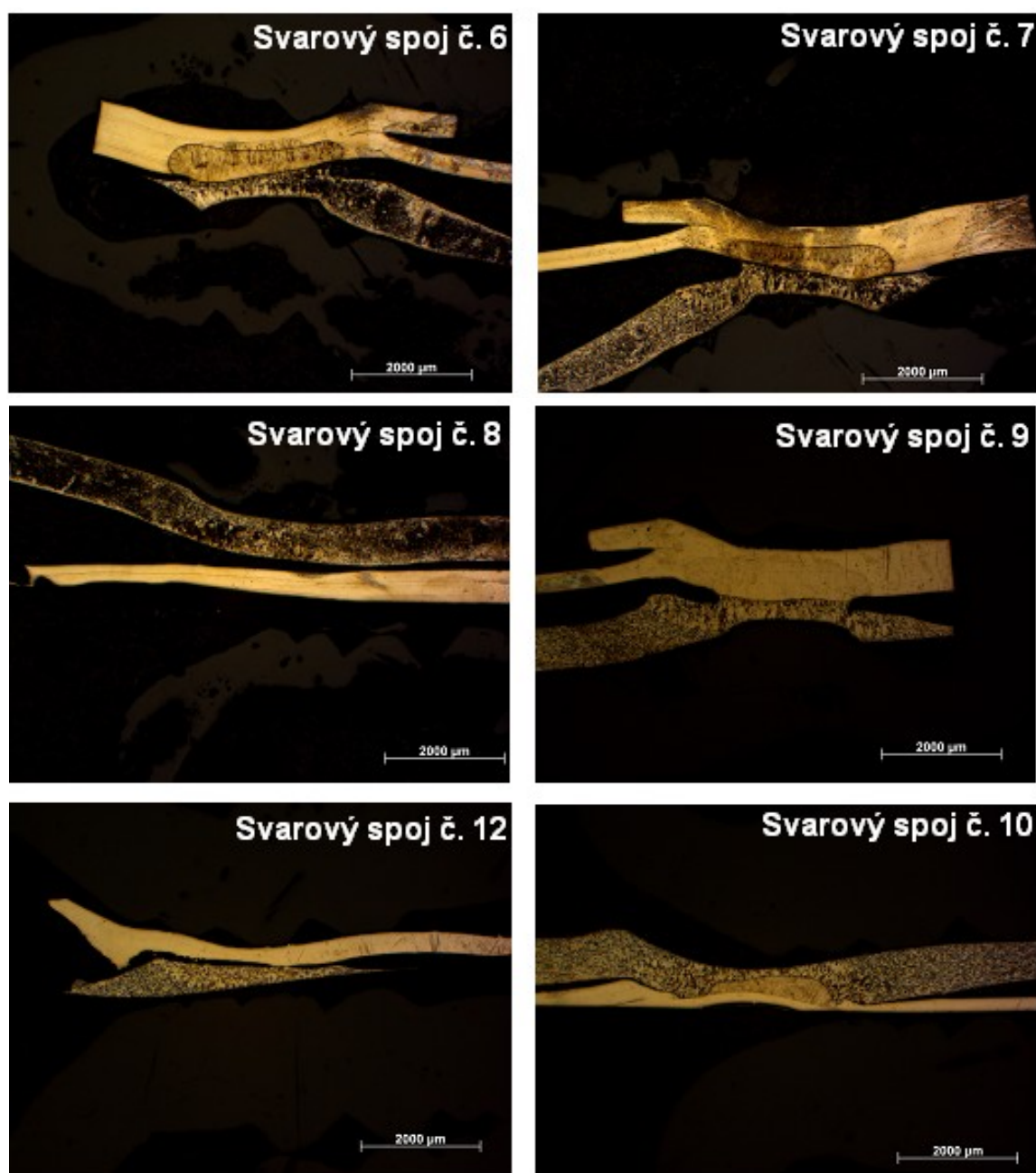
Hodnocení bude probíhat následujícím postupem:

- hodnoty vtisku elektrod před řezem vzorku ze strany pozinkovaného a austenitického plechu
- odměřené hodnoty (rozměry) z makrostruktury vzorků
- posouzení vzhledu čočky, její případné vady
- mikrotvrdost svarového spoje
- klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520 - 2
- návrh na zlepšení





Obr. 2.13 Makrostruktura svarů zhotovená MF svařovacími klešti 1 vlevo



Obr. 2.14 Makrostruktura svarů zhotovená MF svařovacími klešti 2 vpravo

Tab. 2.12 Hodnocení průměru vtisku elektrody před řezem – pozinkovaný plech

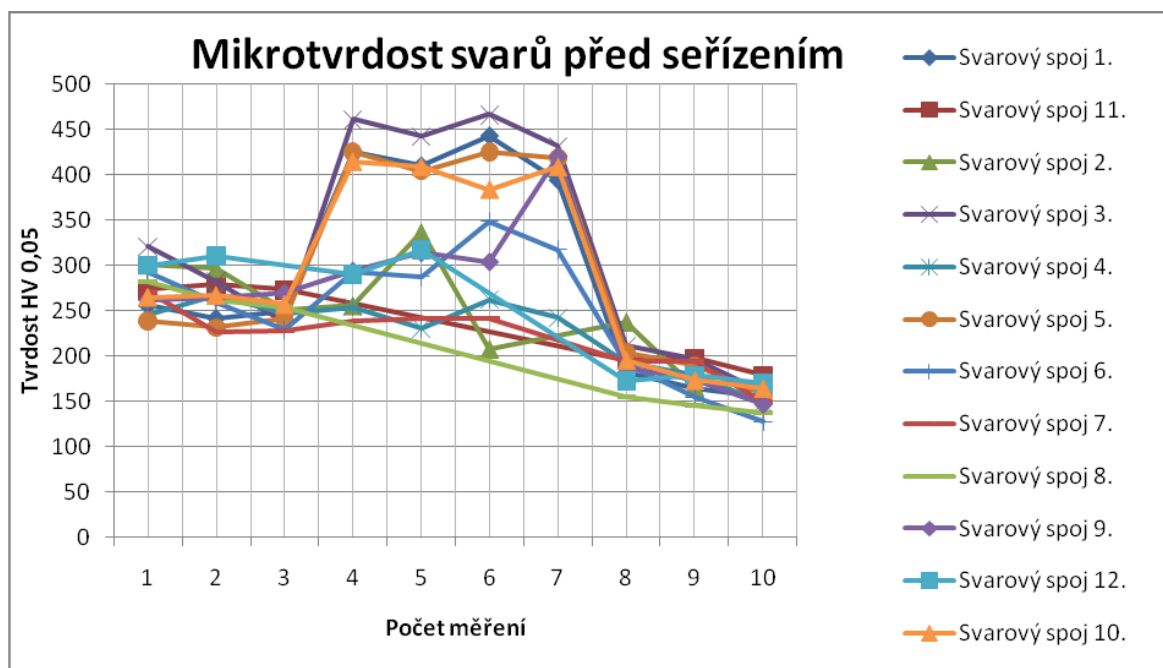
Označení bodu	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Arit. průměr [mm]
1.	5,2	5,21	5,62	5,343
11.	5,31	4,84	4,73	4,96
2.	4,94	4,62	5,14	4,9
3.	3,36	2,96	3,54	3,287
4.	2,95	3,21	2,94	3,033
5.	3,13	3,04	3,07	3,08
6.	3,74	3,52	3,33	3,53
7.	3,55	3,12	3,55	3,61
8.	3,59	3,54	3,7	3,61
9.	4,46	3,78	4,13	4,123
12.	4,47	3,81	4,24	4,173
10.	4,99	4,66	5,01	4,8867

Tab. 2.13 Hodnocení průměru vtisku elektrody před řezem – austenitický plech

Označení bodu	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Arit. průměr [mm]
1.	4,85	5,2	5,06	5,03
11.	4,9	4,48	4,5	4,6266
2.	4,71	5,52	4,69	4,9733
3.	3,11	3,23	2,98	3,1037
4.	3,26	2,76	3,18	3,067
5.	3,03	2,91	3,1	3,0133
6.	3,25	2,98	2,45	2,8933
7.	2,73	2,44	2,45	2,54
8.	3,1	2,72	2,88	2,9
9.	3,51	2,58	3,2	3,096
12.	2,49	2,55	2,76	2,6
10.	3,38	3,82	3,41	3,536

Tab. 2.14 Hodnoty mikrotvrdomosti svarových spojů před seřizováním

Ozn. svaru	Měření 1 [HV 0,05]	Měření 2 [HV 0,05]	Měření 3 [HV 0,05]	Měření 4 [HV 0,05]	Měření 5 [HV 0,05]	Měření 6 [HV 0,05]	Měření 7 [HV 0,05]	Měření 8 [HV 0,05]	Měření 9 [HV 0,05]	Měření 10 [HV 0,05]
1.	256	242	249	426	410	443	394	182	165	155
11.	273	279	273	-	-	-	-	195	198	179
2.	301	297	251	256	337	208	-	238	166	-
3.	321	282	237	461	443	467	432	211	197	160
4.	246	267	247	254	230	262	242	193	179	148
5.	239	232	242	426	405	426	419	204	190	158
6.	294	260	230	294	288	349	318	192	155	128
7.	271	226	228	239	242	242	-	195	194	150
8.	282	262	254	-	-	-	-	155	146	138
9.	262	265	270	294	314	304	420	187	174	147
12.	301	311	-	291	318	-	-	173	179	170
10.	265	267	257	415	409	384	409	195	173	164



Obr. 2.15 Graf mikrotvrdomosti svarových spojů před seřizováním

Pro zjednodušení hodnocení budou jednotlivé svary zařazeny do skupiny podle jejich vzhledu (tab. 2.15). Následně bude provedeno podrobné hodnocení s návrhem na provedení zlepšení.

Tab. 2.15 Rozdělení svarových spojů do skupin podle vad

Označení svaru	Název skupiny
8, 12	Nenatavený svar
3, 4	Održený svar
1, 6, 7, 10	Nesymetrický svar
2, 5, 9	Malá čočka
11	Dlouhá čočka

Nenatavený svar

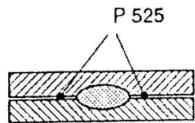
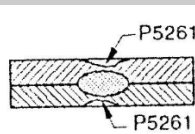
Hodnocením uvedených svarových spojů (svarové spoje 8, 12) z hlediska průměru vtisku elektrody, jak ze strany pozinkovaného, tak austenitického plechu byly odhaleny příliš nízké hodnoty průměru vtisku elektrod. To může vést k myšlence špatného sestavení plechů. Tento poznatek je z hlediska vytvoření kvalitního svarového spoje rozhodující při bodovém svařování. Jestliže by se obě plochy v místě svaru nedotýkaly, bylo by velké riziko vzniku difuzního spoje (v lepším případě) a v horším případě by svar nevznikl vůbec.

Klasifikace podle hodnot odměřených na makrostruktuře řezu nemohla být provedena z důvodu neměřitelnosti rozměrů.

Spoje uvedené v tab. 2.14 se z pohledu hodnot mikrotvrdosti od sebe neliší. Hodnoty mikrotvrdosti potvrzují pouze nevytvoření svarové čočky.

V tabulce 2.16 jsou uvedeny vyskytující se vady na svarových spojkách 8 a 12 podle normy ČSN EN ISO 6520 – 2.

Tab. 2.16 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520 – 2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohluběny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	

Jako návrh na zlepšení provedeného spoje bude doporučeno zaměřit se na geometrii elektrod a jejich materiál. Dále upravit tlak přitlaku obou elektrod, který je příliš velký a v materiálu tak vznikají nadměrné vtisky. Rozevření plechů se nedá nijak ovlivnit, neboť svařované plechy mohou být nepatrně pokřivené a nedosednou celou plochou na sebe.

Odtržený svar

U těchto typů spoje (svarové spoje 3, 4) byly změřeny malé hodnoty průměru vtisku elektrod. Tento jev mohl být důsledkem nízkého tlaku elektrod nebo nadměrné rozevření plechů, kdy proud začal procházet elektrodami v okamžiku, když oba plechy nebyly u sebe.

Tab. 2.17 Hodnoty řezu svarových spojů 3 a 4

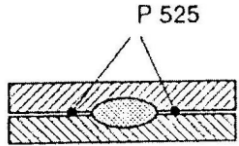
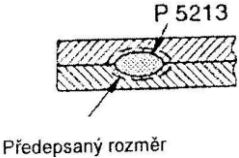
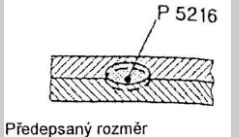
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čocky [μm]	Délka čocky [mm]
3.	183,8	239,8	213,4	761,6
4.	199,7	214,3	-	-

Klasifikace podle hodnot odměřených na makrostruktuře řezu (tab. 2.17) ukazuje na příliš velkou hodnotu hloubky vtisku elektrod, jak ze strany pozinkovaného plechu, tak i ze strany austenitického plechu.

Hodnocením těchto spojů z pohledu mikrotvrdosti svaru odhaluje značné odchylky. U svarového spoje č. 3 podle hodnot mikrotvrdosti došlo k velkému nárůstu mikrotvrdosti přechodem z austenitického do pozinkovaného plechu. To svědčí o náznaku vytvoření svarové čocky. Posouzením obrázku k odpovídajícímu spoji lze potvrdit pouze náběh na vytvoření čocky. Tento nevyhovující spoj lze označit za spoj difuzní, protože došlo k odtržení během destruktivní zkoušky. Hodnocením mikrotvrdosti svarového spoje č. 4 i hodnot odměřených na makrostruktuře svarů se potvrzuje nevytvoření svarové čocky ani difuzního spoje. Tento spoj pouze ukazuje na nadměrný vtisk elektrod do obou svařovaných materiálů.

Tabulka 2.18 uvádí druhy vad vyskytnuté na svarových spojkách 3 a 4 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 2.18 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady	Poznámka
P 403	nedostatečné spojení - stykové plochy jsou pouze částečně nebo nedostatečně spojeny		
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká		
P 5213	průměr čochy je příliš malý - průměr čochy je menší, než je požadováno		svarový spoj č.3
P 5216	nedostatečný průvar čochy - hloubka průvaru čochy měřená od roviny spoje je v jednom ze spojovaných dílů nedostatečná		svarový spoj č.3

Jako návrh na zlepšení provedeného spoje lze navrhnout úpravu geometrie elektrod a jejich materiál. Dále pak upravit velikost přitlaku obou elektrod, který je příliš velký a v materiálu vytváří nadměrné vtisky. Rozevření plechů se nedá nijak ovlivnit, neboť svařované plechy mohou být nepatrně pokřivené a nedosednou celou plochou na sebe.

Nesymetrický svar

Hodnocením uvedených bodových svarových spojů (svarové spoje 1, 6, 7, 10) z hlediska průměru vtisku elektrody (jak ze strany pozinkovaného, tak austenitického plechu) je znatelný rozdíl mezi jednotlivými spoji. Svarový spoj č. 1 vykazuje příliš vysoké hodnoty vtisku u obou materiálů oproti ostatním spojům (svarové spoje 6, 7, 10). U svarového spoje č. 1 zřejmě došlo k nadměrnému natavení zinku, který se usadil na povrchu elektrod, a tím se zvětšila plocha elektrody. V porovnání s novou elektrodou (hodnota průměru elektrody je 4,3 mm) se průměr elektrody liší až o 1 mm. V ostatních případech (svarové spoje 6, 7, 10) hodnoty průměru vtisku jsou příliš malé z důvodu nadměrného rozevření plechů nebo nesprávného nastavení ploch elektrod proti sobě.

Tab. 2.19 Hodnoty řezu svarových spojů 1, 6, 7, 10

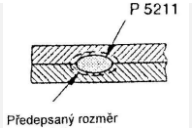
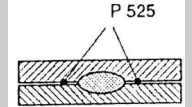
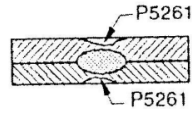
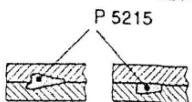
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čocky [μm]	Délka čocky [mm]	Neprovařená část austenit [μm]	Neprovařená část pozin. plech [μm]
1.	364,4	515,7	344,7/279,2	1,865	207,4	238,4
6.	473,1	229,8	585,0/356,7	2,922	174,2	318,5
7.	298,7	289,5	563,4/334,7	2,804	348,5	350,9
10.	-	722,2	416,9/174,0	2,120	-	115,3

Hodnocením vzhledu samotných svarů je zvláštní jejich nepravidelný tvar. Tento tvar může mít za následek špatné dosednutí elektrod, což je patrné z vtisku (tab. 2.19). Dalším důvodem tohoto nepravidelného tvaru mohou být nadměrně opotřebované elektrody, kde zvětšením plochy dotyku dochází ke zvýšení hodnoty svařovacího proudu při svařování.

Hodnocením mikrotvrdosti svarových spojů (svarové spoje 1, 6, 7, 10) byly objeveny další odlišnosti, kterými se tyto na první pohled stejné svary od sebe liší. Svarový spoj č. 1 a č. 10 mají hodnoty mikrotvrdosti čocky v průměru 420 HV 0,05 oproti ostatním (svarové spoje 6 a 7), které dosahují mikrotvrdosti kolem 300 HV 0,05. To může mít za následek nastavení tvrdšího svařovacího režimu u svarových spojů z tvrdší svarovou čockou a měkčího svařovacího režimu u svarových spojů s menší tvrdostí čocky.

Tabulka 2.20 udává druhy vad zjištěných na svarových spojih 1, 6, 7, 10 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 2.20 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 5211	nesprávná tloušťka čocky nebo nápěchu (výronku) - čocka je příliš plochá nebo nápěch (výronek) je příliš malý	
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohluběny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	
P 5215	asymetrická čocka nebo výronek - asymetrie tvaru a/nebo umístění čocky nebo výronku	

Jako návrh na zlepšení kvality spojů bude provedena úprava geometrie a materiálu elektrod. Dále je nutné upravit tlak přitlaku obou elektrod, který je příliš velký, a v materiálu vznikají nadměrné vtisky. Rozevření plechů se nedá nijak ovlivnit, neboť svařované plechy mohou být nepatrně pokrivené a nedosednou celou plochou na sebe.

Malá čočka

Hodnocením svarových spojů (svarové spoje 2, 5, 9) z pohledu hodnot průměrů vtisku elektrody (tab. 2.21) byly zjištěny, jako v předchozím případě rozdíly. U svarového spoje č. 2 jsou hodnoty značně vyšší než v ostatních případech (svarové spoje 5, 9). Tento fakt může mít za následek, jak už bylo zmíněno, nadměrné opotřebení elektrod. Oproti tomu, příliš malé hodnoty průměru vtisků svědčí o malém přitlaku elektrod nebo o nadměrném rozevření spojovaných plechů.

Tab. 2.21 Hodnoty řezu svarových spojů 2, 5, 9

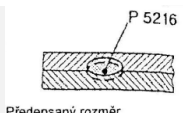
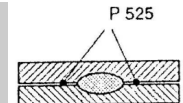
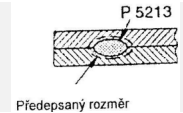
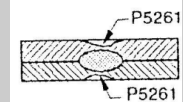
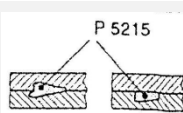
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čočky [μm]	Délka čočky [mm]	Neprovařená část austenit [μm]	Neprovařená část pozin. plech [μm]
2.	-	-	779,9	2,357	414,5	364,7
5.	272,4	298,7	433,7	1,928	354,9	404,2
9.	453,0	318,4	462,9	3,147	318,8	344,8

U svarového spoje č. 2 nevznikl dostatečný průvar čočky v austenitickém plechu, jak je vidět na makrostruktuře bodového svaru. Dále se v čočce objevují póry, které mohou být příčinou použití příliš tvrdého svařovacího režimu. V porovnání s předešlými spoji nejsou viditelné vtisky po elektrodách, zřejmě následkem malého tlaku elektrod. Svarový spoj č. 5 a č. 9 vykazuje hluboké vtisky elektrod jak z pozinkovaného, tak z austenitického plechu. Čočka má nedostatečný průvar v austenitickém plechu. To svědčí o špatném průměru elektrod, nebo jak se ukázalo v předchozích případech došlo k nesprávnému dosednutí plechů při svařování.

Hodnocením mikrotvrdosti svarových spojů byly pozorovány odlišnosti i tady. Spoj č. 2 a č. 9 má mikrotvrdost čočky menší (cca 300 HV 0,05) v porovnání se stejně vypadajícím spojem č. 5, který má mikrotvrdost přes 400HV 0,05. Tyto spoje se zřejmě liší v použitém režimu svařování.

V tabulce 2.22 jsou uvedeny typy vad vyskytujících se na svarových spojech 2, 5, 9 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 2.22 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 5216	nedostatečný průvar čochy - hloubka průvaru čochy měřená od roviny spoje je v jednom ze spojovaných dílů nedostatečná	
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5213	průměr čochy je příliš malý - průměr čochy je menší, než je požadováno	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	
P 5215	asymetrická čochka nebo výronek - asymetrie tvaru a/nebo umístění čochy nebo výronku	

Jako návrh na zlepšení provedení spoje bude doporučeno zaměřit se na geometrii elektrod a jejich materiál.

Dlouhá čochka

U tohoto spoje (svarový spoj 11) je ta zvláštnost, že se svařují pouze dva plechy. To samé platí i pro spoj č. 12. To je vidět i na makrostruktuře příslušného svaru, kde austenitický plech je pouze jeden. Tady se jako v předchozím případě potvrdilo, že elektrody jsou nadměrně opotřebené, což odpovídá hodnotám naměřeným před řezem čochy.

Tab. 2.23 Hodnoty řezu svarového spoje č. 11

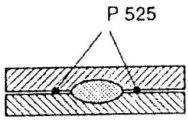
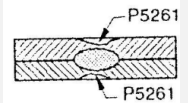
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Délka slepení [mm]
11.	403,7	508,9	2,658

U svarového spoje č. 11 nedošlo k vytvoření svarové čočky, jak je vidět na makrostruktuře svaru. Tento spoj nevykazuje vznik svarové čočky (obr. 2.13). Tabulka 2.23 uvádí hodnoty odměřené na makrostruktuře svarového spoje č. 11.

Mikrotvrдость tohoto spoje potvrzuje nevytvoření svarové čočky.

Tabulka 2.24 uvádí vady vyskytující se na svarovém spoji č. 11 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 2.24 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 403	nedostatečné spojení - stykové plochy jsou pouze částečně nebo nedostatečně spojeny	
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeniny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	

Jako návrh na zlepšení provedeného spoje bude doporučeno zaměřit se na geometrii elektrod a jejich materiál. Dále upravit tlak přitlaku obou elektrod, který je příliš velký a v materiálu vznikají nadměrné vtisky. Tlak se musí nastavit s ohledem na počet svařovaných plechů.

2.9 Zhodnocení dosažených výsledků

Analýzou svarových spojů svařených metodou odporového bodového svařování bylo provedeno vyhodnocení kvality svarových spojů pro schválení procesu svařování. Nutno připomenout, že se jedná pouze o montážní svarové spoje, které se hodnotí jako vyhovující v případech, kdy spoje vydrží zatížení destruktivní zkoušky. V tabulce 2.25 je provedeno hodnocení svarových spojů pro schválení procesu svařování.

Tab. 2.25 Analýza svarových spojů pro schválení procesu svařování

Hodnocení svarových spojů	Označení svarových spojů
Vyhovující svarové spoje	1, 11, 6, 7, 10
Nevyhovující svarové spoje	2, 3, 4, 5, 8, 9, 12

Z odebraných vzorků vyplynulo na základě destruktivních zkoušek, nebylo nutné ani v jednom případě měnit svařovací parametry. Problém, který musí být nějakým způsobem vyřešen, spočívá ve změně geometrie a materiálu používaných elektrod, jelikož nedochází k natavování materiálu v požadovaném místě. Současná geometrie elektrod způsobuje značné komplikace při výměně opotřebovaných výměnných elektrod, kdy na dosedací ploše sloužící k upevnění elektrody není žádná drážka (doraz), která by zajistila stejnou polohu ustavení elektrod. Tento problém by vyřešila geometrie s použitým rádiusem, která by nepožadovala přesné natočení jako geometrie komolého kužele. Dalším problémem je vysoký tlak sevření elektrod, který způsobuje nadměrnou hloubku vtisku. Také svařovací proud je nutné optimalizovat, jelikož dochází k přivaření elektrod a ulpívání zinku na jejich povrchu. K přivaření elektrod dochází z důvodu protavení svařovaného materiálu na povrch plechu. Problém, který se objevoval u všech vyhodnocených vzorků, bylo nadměrně velké rozevření plechů při svařování. Díky tomuto nesprávnému ustavení docházelo k předčasnému svaření ještě před dosednutím obou materiálu na sebe. Z tohoto důvodu nevyhovuje geometrie svařovacích rovin a je tedy nutné prodloužit výdrž (při stlačování) před zahájením svařování, která by zajistila dosednutí obou svařovacích rovin na sebe.

3 Provedení heterogenních svarových spojů a jejich vyhodnocení

Na základě vyhodnocení současných svarových spojů uvedených v kapitole 2, byly navrženy a provedeny úpravy procesu bodového odporového svařování austenitických a pozinkovaných plechů. Bylo provedeno přenastavení svařovacích parametrů za účelem vytvoření kvalitnějších svarových spojů. Dále byly odzkoušeny svařovací elektrody s novou geometrií, které by měly zaručovat lepší přístupnost ke svařovanému místu a zajistit tak lepší kvalitu svarového spoje.

Pro svařování byla použita shodná austenitická ocel 1.4301 a pozinkovaný plech DX53D (1.0355), jako v kapitole 2.2 a kapitole 2.3.

Vyhodnocení bodových svarových spojů bylo provedeno zdokumentováním makrostruktury, mikrostruktury a stanovení mikrotvrdosti svarového spoje.

Cílem je optimalizovat celý proces provádění odporových svarových spojů s minimalizací nevyhovujících svarových spojů, s konečným důsledkem snížení počtu destruktivních zkoušek.

Vyhodnocení heterogenních svarových spojů

První část vyhodnocení heterogenních svarových spojů byla prováděna na strojích od firmy Struers. Vzorky se odebíraly ihned po svaření, příčně rozřezány a dále připraveny pro posouzení mikrostruktury a makrostruktury.

Použité tenké plechy (pozinkovaný plech 0,8 mm a austenitický plech 0,8 mm, ve dvou případech austenitický plech 0,4 mm) nevykazovaly žádnou strukturu při použití univerzálních leptadel, muselo byt proto zapotřebí použít speciálních leptadel, aby bylo možné analyzovat makrostrukturu a mikrostrukturu svaru.

Na austenitický plech bylo použito leptadlo V2 o složení: 100 ml vody, 100 ml HCl, 10 ml HNO₃.

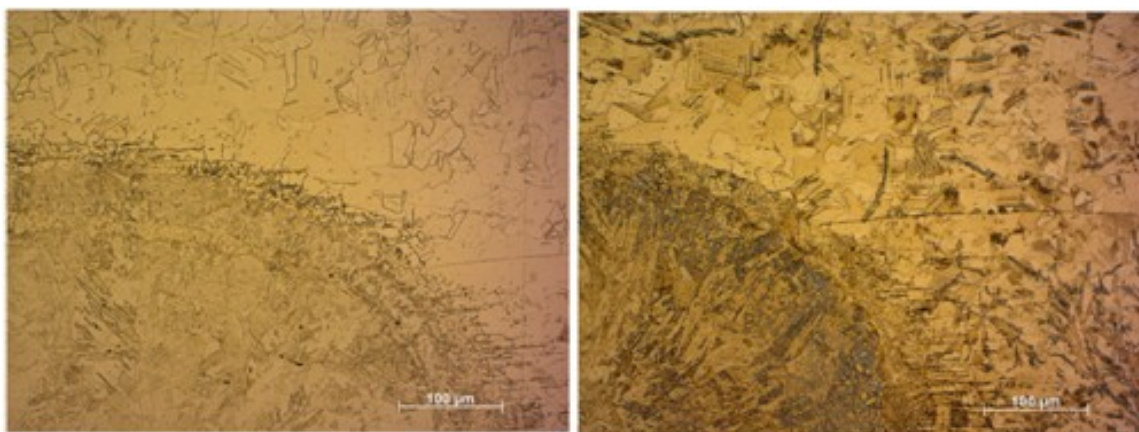
Pro pozinkovaný plech pak leptadlo COR o složení: 10 ml HCl, 6 ml kyseliny octové, 1 – 2 g kyseliny pikrové, 100 ml metyl alkoholu.

3.1 Vyhodnocení makrostruktury a mikrostruktury vzorků

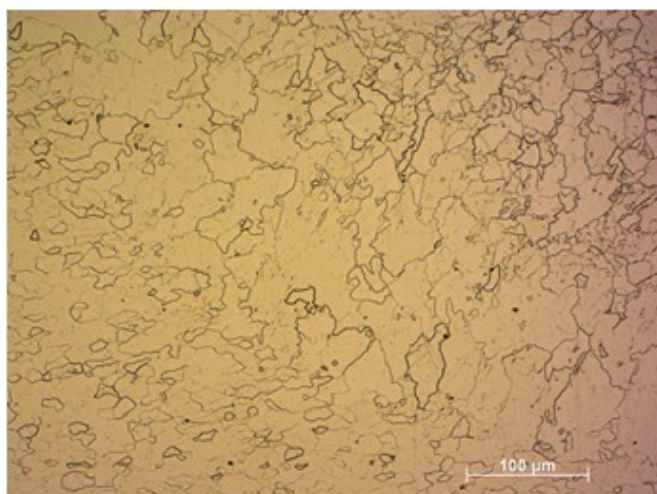
Posouzení bylo provedeno na mikroskopu ZEISS AX10.

Nejdříve se zjišťovala makrostruktura jednotlivých bodových svarů. Pro analýzu bylo použito zvětšení 12,5x, které bylo vhodné pro dokumentaci důležitých částí vzorků jako např. svarovou čočku a oba dva materiály.

Pro analýzu mikrostruktury (obr. 3.1 a 3.2) bylo použito zvětšení 200x. V tomto případě se analyzovala část TOO obou materiálů a základní neovlivněné materiály. Pro střed svarové čočky (obr. 3.3) bylo použito měřítko zvětšení 500x, aby bylo názorně možné pozorovat rozdíly mezi čočkou a základním materiálem.

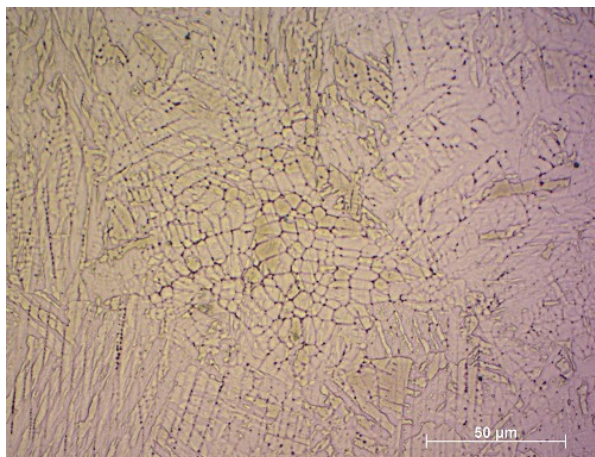


Obr. 3.1 Mikrostruktura přechodové oblasti z čočky do austenitického plechu při zvětšení 200x



Obr. 3.2 Mikrostruktura přechodové oblasti z čočky do pozinkovaného plechu při zvětšení 200x

Na mikrostruktuře přechodové oblasti z čochy do pozinkovaného plechu (obr. 3.2) je vidět postupná přeměna struktury ze základního materiálu (feritického zrna) přes TOO a nárůstem dendritů směrem do svarové čochy.



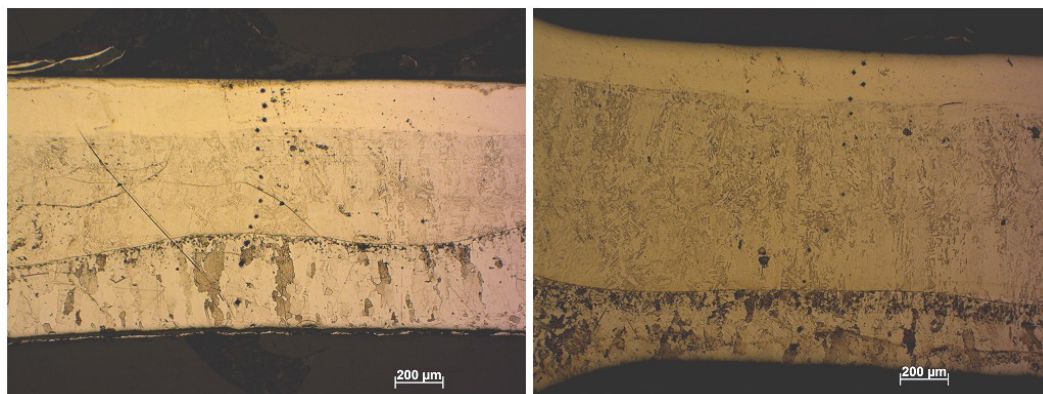
Obr. 3.3 Mikrostruktura středu čochy při zvětšení 500x

3.2 Měření mikrotvrdosti vzorků

Pro zjištění mikrotvrdosti byla použita metoda podle Vickerse. Postup provedení zkoušky byl v souladu s normou ČSN EN ISO 6507-1.

Pro analýzu mikrotvrdosti byl použit Mikrotvrdoměr LECO LM 100 s rozsahem zatížení od 10 g – 1 kg. Vyhodnocené vzorky byly zatěžovány zátěží 50 g.

Měření bylo prováděno od austenitického plechu přes střed čochy do pozinkovaného plechu (obr. 3.4) ve všech případech stejně, jak znázorňuje snímek. U každého svarového spoje bylo provedeno 10 měření (3 měření v austenitickém plechu, 4 měření přes čochu a 3 měření přes pozinkovaný plech). Naměřené hodnoty byly zapsány do tabulky.



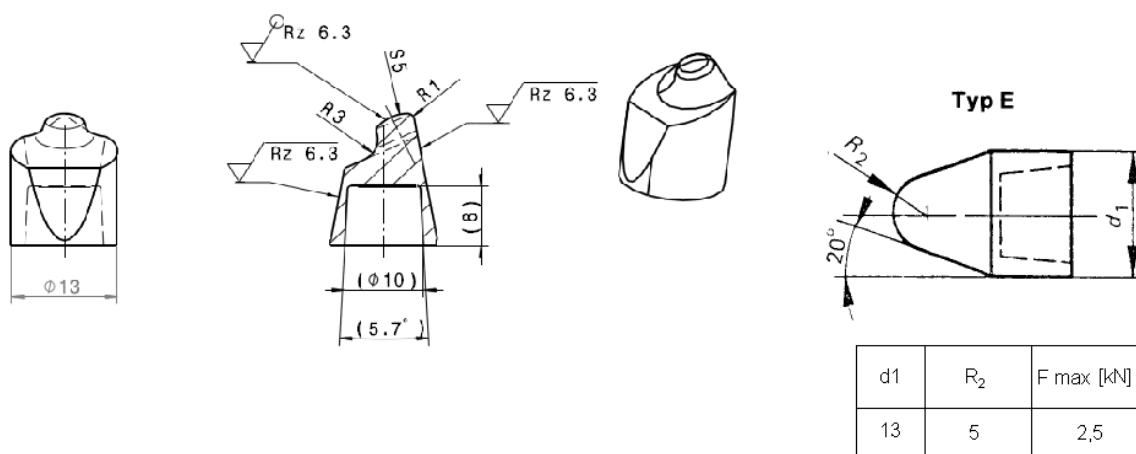
Obr. 3.4 Způsob měření mikrotvrdosti metodou podle Vickerse

3.3 Nová geometrie a materiál použitých svařovacích elektrod

Nevýhoda původních svařovacích elektrod spočívala ve špatně zvolené geometrii. Původní spodní elektroda měla tvar komolého kužele. Díky této geometrii a špatnému přístupu ke svařovanému místu vznikaly místo natavení jen difuzní spoje. Horní elektroda měla rovnou dosedací plochu, na které docházelo k ulpívání zinku, který byl důsledkem její nízké životnosti.

Na základě výsledků byla vytvořena nová geometrie prototypových svařovacích elektrod. Nevýhodou bude nákladná výroba z důvodu speciální geometrie. Vyobrazená geometrie spodní elektrody neodpovídá žádné z variant od dodavatelů, bude tedy muset být vyrobena na zakázku. Proto geometrie na obr. 3.5 není konečný výsledek.

Nová geometrie elektrod (obr. 3.5) splňuje požadavky na vytvoření kvalitního spoje, kdy rádius horní elektrody vytlačí roztavený zinek a tím nebude ulpívat na elektrodě. Sražení na obou stranách a tvar bude umožňovat lepší přístup do místa svaru



Obr. 3.5 Nová geometrie spodní a horní elektrody

Materiál pro výrobu výměnných elektrod byl zvolen podle doporučení od firmy AEG (obr. 3.6). Kde pro svařování pozinkovaného a austenitického plechu bylo doporučeno použít jako materiál pro spodní výměnnou elektrodu WIRBALIT B a pro horní elektrodu WIRBALIT HF.

Použití materiálů elektrod

	bright steel	oxidized steel	galvanized steel	lead steel	0.38% C steel	stainless steel	aluminium	aluminium alloys	brass	bronze
bright steel	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	B HF	L, N4 HF		L, N4 HF	L, N4 HF
oxidized steel	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF		L, N4 HF			
galvanized steel	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	B HF				
lead steel	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	B HF	L, N4 HF			
0.38% C steel	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	HF HF	B HF				
stainless steel	HF B		HF B	HF B	HF B	B B				
aluminium	HF L, N4	HF L, N4		HF L, N4			L, N4 L, N4	HF L, N4		
aluminium alloys							L, N4 HF	HF HF		
brass	HF L, N4								L, N4 L, N4	L, N4 L, N4
bronze	HF L, N4								L, N4 L, N4	L, N4 L, N4

excellent
 good
 fair

Obr. 3.6 Volba materiálů pro výměnné elektrody [12]

V tabulce 3.1 je uvedeno národní a mezinárodní označení materiálů nově vybraných výměnných elektrod. Tabulka 3.2 popisuje mechanické a fyzikální vlastnosti obou materiálů. Chemické složení pro materiál WIRBALIT HF je uvedeno v tab. 3.3 a pro materiál WIRBALIT B v tab. 3.4. Na obr. 3.7 a 3.8 je provedeno porovnání tvrdosti a odolnosti proti opotřebení obou materiálů.

Tab. 3.1 Národní a mezinárodní označení materiálů [12]

AEG		Mezinárodní	U.S.A.
WIRBALIT	Slitina	ISO 1336 ISO 1187	UNS No.
HF	CuCr1Zr	CuCr1Zr	C 18150 C18200 C18400
B	CuCo2Be	CuCoBe	C 17500

Tab. 3.2 Mechanické a fyzikální vlastnosti materiálů [12]

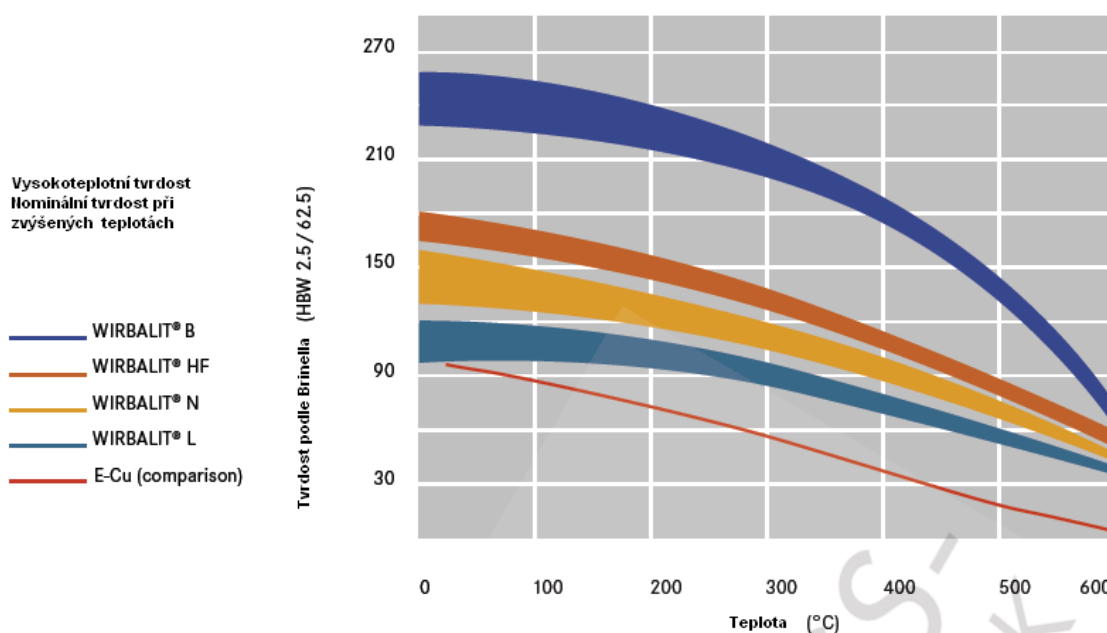
AEG slitiny	Hustota při 20°C [g/cm ³]	Teplota tání (likvidus) [°C]	Střední součinitel délkové teplotní roztažnosti [10 ⁻⁶ /K]	Modul pružnosti [kN/mm ²]	Teplená vodivost při 20°C [W/(m.K)]	Teplota měknutí [°C]
WIRBALIT HF	8,9	1075	18,0	120	330	475
WIRBALIT B	8,8	1056	17,8	120	230	500

Tab. 3.3 Chemické složení materiálu WIRBALIT HF [12]

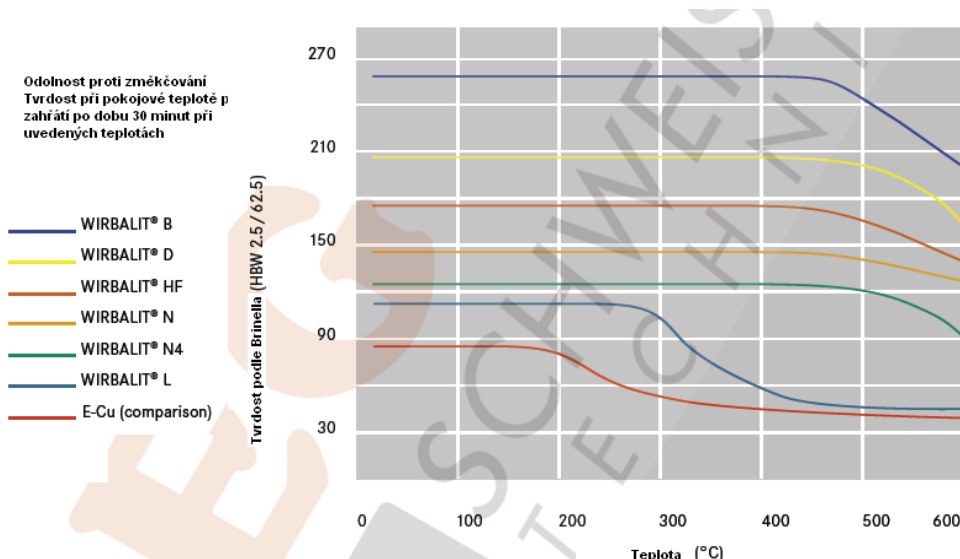
Název prvku	Cr	Zr	Cu	Ostatní
Obsah [%]	0,65	0,08	zbytkový	Max. 0,2

Tab. 3.4 Chemické složení materiálu WIRBALIT B [12]

Název prvku	Co	Be	Cu	Ni + Fe	Ostatní
Obsah [%]	2,2	0,55	zbytkový	max. 0,5	max. 0,5



Obr. 3.7 Tvrdost materiálů [12]



Obr. 3.8 Odolnost materiálů proti změkčování [12]



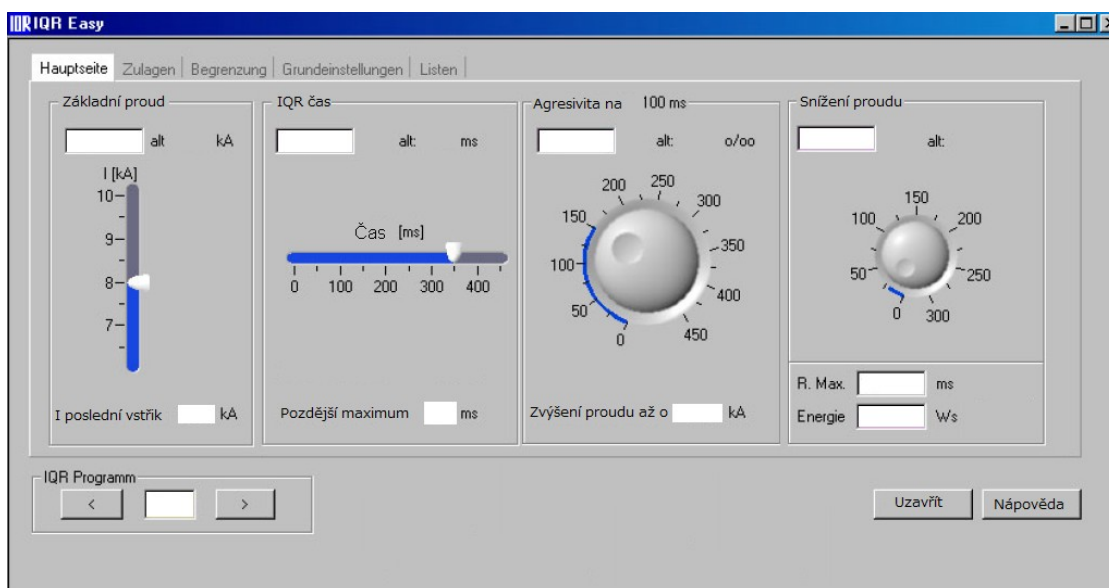
Obr. 3.9 Opotřebení elektrody

Svařovací elektrody znázorněné na obrázku (obr. 3.9) vydržely 2 hodiny chodu. Jejich životnost tedy odpovídá původním elektrodám.

3.4 Nastavení svařovacích parametrů na zařízení

Správné nastavení svařovacích parametrů vyžaduje podrobné seznámení s programem, kterým je vybaveno svařovací zařízení. Komunikační software pro bodové svařování na stanici č. 5 se nazývá Pegasus a pochází od firmy Harms Wende.

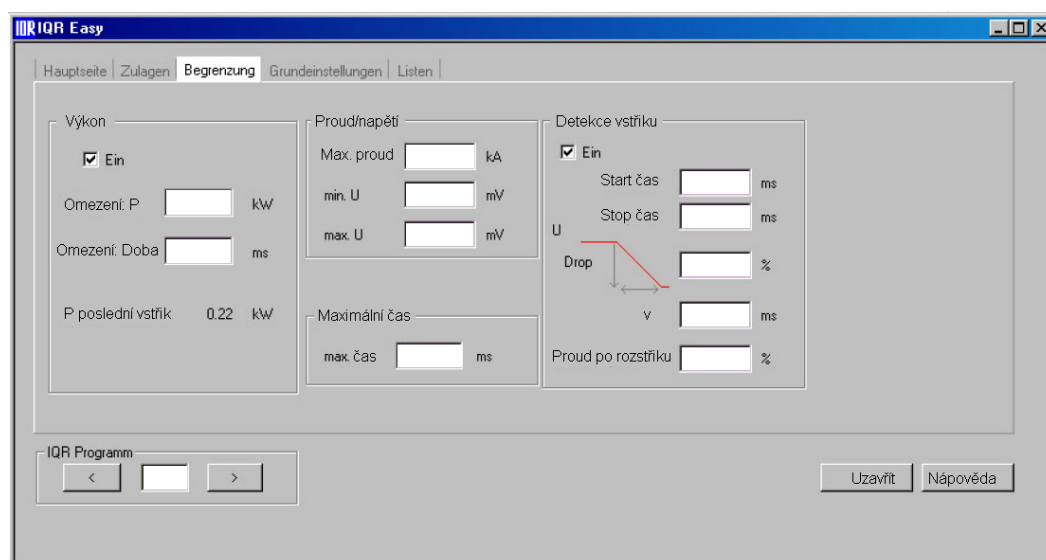
Pro nastavení vhodných parametrů je nutné znát následující veličiny, které je možné pomocí programu řídit. Na obrázku 3.10 a 3.11 jsou znázorněny tabulky pomocí kterých se provádí nastavování svařovacích parametrů na odporové svářečce.



Obr. 3.10 Program pro nastavení svařovacích parametrů – Hlavní stránka [16]

Ve sloupci Základní proud, se nastavuje hodnota proudu, kterým má začít svařovací proces. Ve sloupci je možné dvojího nastavení a to, zadat hodnotu proudu číselně nebo provést nastavení pomocí posuvného regulátoru. Nastavená hodnota musí ležet pod hranicí výstřiku. I poslední vstřík představuje hodnotu svařovacího proudu, při kterém byl rozpoznán poslední vstřík. Ve sloupci IQR čas se nastavuje doba impulsů IQR tzn., že nastavený čas se nemění pro počáteční impuls, multipuls a dodatečný ohřev, ale nastavuje se jen doba pro regulovaný IQR impuls. Sloupec s označením Agresivita na 100 m.s se váže na stoupání, s kterým se zvyšuje proud po spuštění IQR regulace. V poli zvýšení proudu se nastavuje, jak vysoko může stoupat proud I až do dosažení IQR regulace. Sloupec Snížení proudu nastavuje sílu redukce proudu po dosažení maxima odporu. Čím větší zvolíme hodnotu, tím dostaneme silnější redukce proudu. Obvykle se hodnota volí mezi 20 – 50. V poli hodnoty R Max se zobrazuje poslední doba maxima odporu. Energie je pak kontrolní parametr, který udává minimální energii pro svařovací zadání. Není-li požadované energie dosaženo, vyskytne se chyba při svařování. [16]

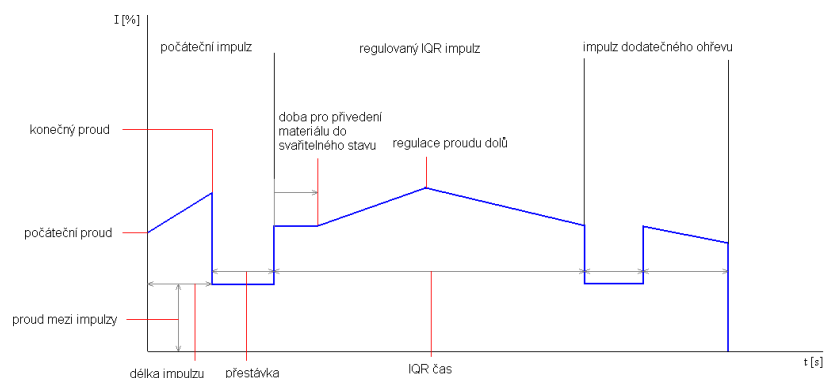
Druhou částí nastavení svařovacích parametrů je úsek omezení, který obsahuje následující hodnoty.



Obr. 3.11 Program pro nastavení svařovacích parametrů – Omezení [16]

Ve sloupci s názvem Výkon se nastavuje omezení výkonu. Parametrem omezení P se zadává výkon v kW, na který se vztahuje omezení. Úprava výkonu začíná při dosažení meze omezení. Tato hodnota slouží pro zamezení výstřiku. Omezení se nastavuje tak, aby výkon o této hodnotě nebyl už dosažen. Doba výstřiku bude neustále delší, a každá další hodnota výkonu se omezuje, než zmizí z časového okénka svařování. Podle regulace výkonu se reguluje výkon pomocí delší doby (80 - 1000 m.s). Regulace se smí používat, pokud průběh odporu není vyhodnocen. Pomocí parametru omezení Doba se nastavuje doba, ve které má být činná regulace výkonu/omezení výkonu. Po uplynutí této doby se reguluje pomocí IQR dle průběhu odporu. Při aktivním určení výstřiku je zobrazení P poslední výstřik pomůckou pro správné nastavení omezení výkonu, aby nemusela být stále posuzována křivka výkonu. Ve sloupci s názvem Omezení se regulují proud a napětí. Pomocí těchto parametrů se dosáhne kontroly měřících přístrojů. V poli max. Čas se zachycuje maximálně povolená doba svařování, která se vypočítá pomocí Easy. Tato doba zahrnuje na rozdíl od časů jiných stránek také všechny vedlejší doby (Multipuls, počáteční impuls, dodatečný ohřev). Sepnutím okénka zapnuto se aktivuje rozpoznání výstřiku. Se spouštěcím časem a časem zastavení vymežíme časové okno, ve kterém je aktivní rozpoznání výstřiku. Výstřikem při svařování dojde k poklesu napětí. Hodnota takového poklesu napětí se zadává v poli Drop. Hodnota se zadává v %, a vztahuje se na výšku napětí před výstřikem. Čas, ve kterém se napětí snižuje, se zadává do pole „v“. „U Drop 10%“ a „v 4 m.s“ jsou vyzkoušená nastavení pro rozpoznání výstřiku.

Sníží-li se napětí při výstřiku minimálně o 10% za nejvýše 4 m.s, je toto rozpoznáno jako výstřik a zobrazí se chyba svařování. V poli Proud po rozstřiku seznázorňuje reakce na tuto událost. Proud je řízen na malou volitelnou hodnotu (odpovídá 85 z nastaveného základního proudu). Toto umožňuje i přes výstřik podle situace provést ještě dobrý bodový svar. [16]



Obr. 3.12 Křivka základního nastavení[16]

Další částí programu je základní nastavení, pomocí kterého se nastavuje počáteční impuls, regulovaný IQR – impuls, impuls dodatečného ohřevu (obr. 3.12). Pokud se provede nastavení i této části zvýší se pravděpodobnost vytvoření požadované jakosti svarového spoje. Křivka byla rozdělena na tři části podle jednotlivých významů. Následně bylo provedeno podrobné popsání jejího významu.

V první oblasti grafu se nastavuje počáteční impuls. Na časové ose se pak nastaví doba trvání impulsu a přestávky mezi počátečním a hlavním impulsem.

Počáteční impuls se vymezuje třemi hodnotami proudu:

Počáteční proud – s touto výškou proudu začíná počáteční impuls. Tato hodnota se zadává v [%] základního proudu. [16]

Konečný proud – s touto výškou proudu končí počáteční impuls, proud se zvyšuje v době trvání impulsu na konečný proud. Konečný proud se zadává v [%] základního proudu. [16]

Proud mezi impulsy – tady je nastavována velikost proudu o přestávce mezi impulsy. Tato hodnota se rovněž vztahuje k základnímu proudu. [16]

Počáteční impuls je vypnutý, jestliže doba počátečního impulsu činí 0 m.s. [16]

Regulovaný IQR – impuls

Jelikož se tento impuls reguluje samostatně, nemusí se zde nastavovat hodně parametrů. Doba trvání a velikost proudu byly již definovány pro tento impuls. Zde se řídí spouštěcí čas IQR – regulace. Tento čas je nutný k tomu, aby materiál byl přiveden do svařitelného stavu. Bez tohoto času se mnohdy nedosáhne čistého průběhu odporu během svařování. Druhá regulující hodnota je Regulace proudu dolů pro redukci proudu. Je-li nalezeno R Max a v dalším průběhu svařování klesá odpor pod tuto hodnotu, potom se spustí redukce proudu. [16]

Impuls dodatečného ohřevu

Impuls dodatečného ohřevu se skládá z doby přestávky, dodatečného ohřevu a konce proudu v [%]. Tento impuls začíná s přestávkou, která se odděluje od hlavního impulsu. Dodatečně je zregulovaná délka impulsu. Počáteční proud impulsu dodatečného ohřevu je konečný proud IQR – impulsu. Po čas trvání impulsu se tento proud řídí přímočaře k jeho konečné hodnotě. Impuls dodatečného ohřevu je vypnutý když doba dodatečného ohřevu činí 0 m.s.

3.5 Optimalizace parametrů svařování

Z kapitoly 3.4 je patrná komplikovanost nastavení parametrů svařování za účelem dosažení vyhovujících svarových spojů. Pro optimalizaci svařovacích parametrů bylo hlavním úkolem nastavit vhodný svařovací proud a tlak elektrod, aby docházelo k většímu natavení materiálu. Vyhodnocením původních svařovacích parametrů bylo dokázáno, že svařené plechy vykazují až nadměrné rozevření, které se může zmírnit jen nastavením delšího počátečního času stlačení elektrod, který by měl i nadměrně rozevřené plechy dostat k sobě a provést kvalitní svar. V tabulce 3.5 a 3.6 jsou uvedeny nově nastavené svařovací parametry používané pro nově zvolené geometrie a materiál elektrod.

Tab. 3.5 Svařovací parametry – Hlavní strana

Ozn. svaru	Zákl. proud	I posl. vstřík	IQR čas	Pozdější max.	Agresivita na 100 m.s	Zvýš. proudu až o	Sníž. proudu	Ener.
	kA	kA	m.s	m.s	%	kA	kA	W.s
1.	7	5,76	140	140	200	8,40	30	1100
11.	4,2	4,44	140	140	200	5,04	30	1000
2.	4,3	4,65	140	140	200	5,16	30	1000
3.	4,3	4,55	140	140	200	5,16	30	1000
4.	4,3	4,49	140	140	200	5,16	30	1000
5.	4,0	4,37	140	140	200	4,80	30	1000
6.	4,0	4,49	140	140	200	4,80	30	1000
7.	4,0	4,46	140	140	200	4,80	30	1000
8.	4,0	4,34	140	140	200	4,80	30	1000
9.	6,5	7,26	140	140	200	7,80	30	1100
12.	6	6,04	150	150	200	7,32	30	1300
10.	6,5	6,11	150	150	200	7,32	30	1300

Tab. 3.6 Svařovací parametry – Omezení

Ozn. svaru	Výkon			Proud/Napětí			Detekce vstříku					Max čas
	Omezení P	Omezení doba	P poslední výprsk	Max. proud	Min. napětí	Max. napětí	Start čas	Stop čas	U	v	Proud po rozstříku	
	kW	m.s	kW	kA	V	V	m.s	m.s	%	m.s	%	
1.	8,80	140	9,10	15	0,50	10	20	168	10	4	85	268
11.	8,20	140	7,95	15	0,50	10	20	168	10	4	85	218
2.	8,40	140	8,35	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
3.	8,40	140	8,25	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
4.	8,20	140	8,04	23	0,5	10	20	168	10	4	85	218
5.	7,80	140	7,70	15	0,5	10	20	168	10	4	85	218
6.	7,80	140	7,71	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
7.	7,30	140	7,77	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
8.	7,30	140	7,94	20	0,5	10	20	168	10	4	85	218
9.	7,00	160	10,32	15	0,5	10	20	168	10	4	85	268
12.	9,50	140	12,19	20	0,5	10	20	168	10	4	85	230
10.	7,0	140	5,52	20	0,5	10	20	168	10	4	85	230

Svařovací tlak se snížil na 0,25 MPa.

3.6 Vyhodnocení svarových spojů po úpravě parametrů svařování

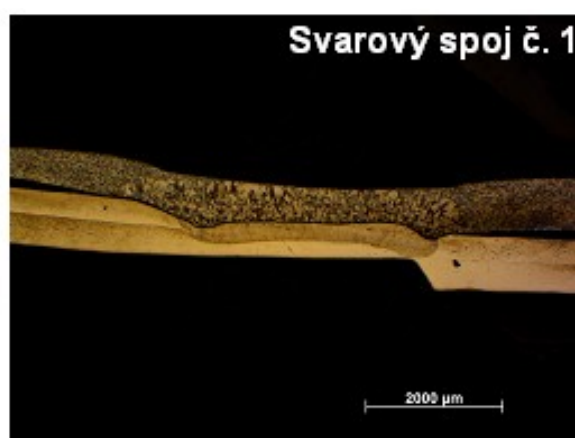
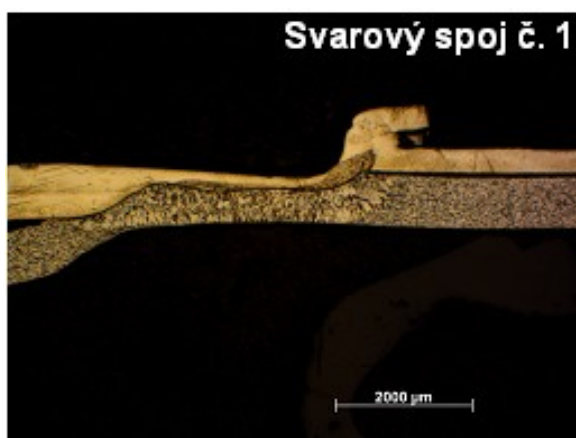
Po provedení nastavení svařovacích parametrů byly zhotoveny tři svařence. Následně se provedly výřezy a z 36 vzorků se namátkově vybralo 24 bodových svarů (od každého svaru dva vzorky), u kterých se provedlo hodnocení kvality.

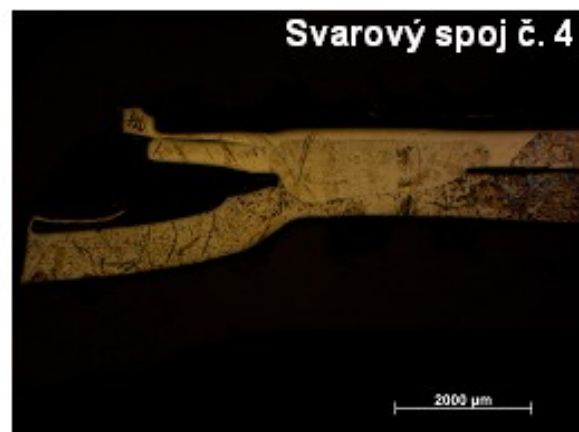
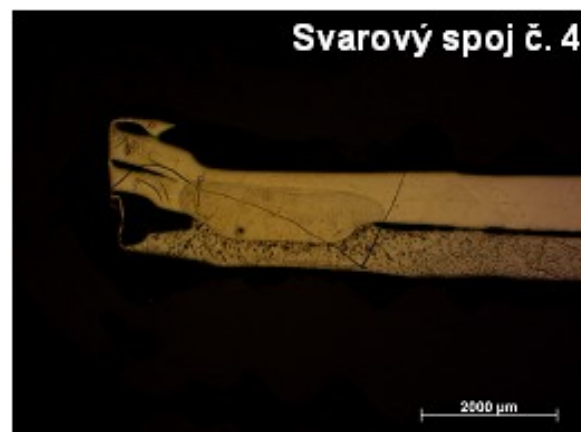
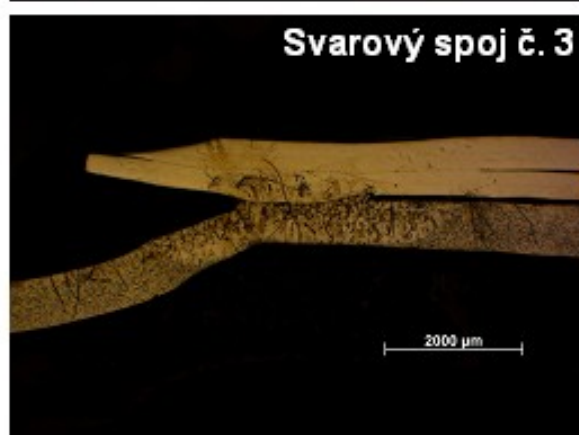
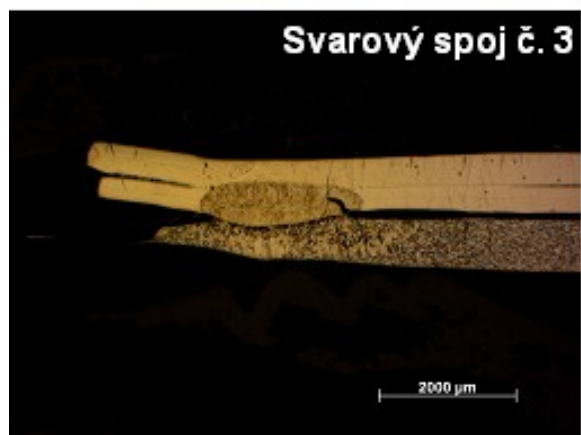
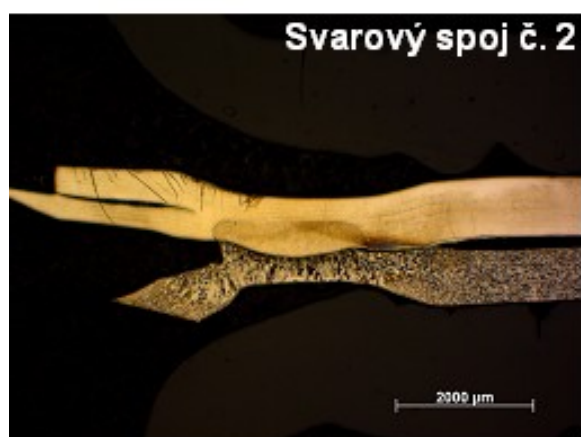
Nutno připomenout, že i v tomto případě byla na svařenci provedená destruktivní zkouška, proto se mohou objevit v čočce trhliny. Jako v předchozím případě, se jedná pouze o montážní svar, na který se nevztahují žádné vyšší požadavky na jakost.

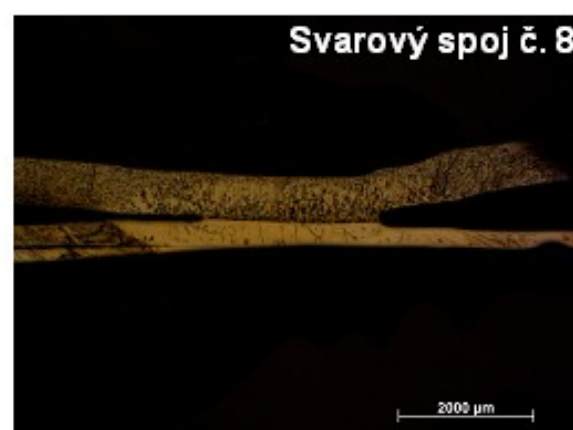
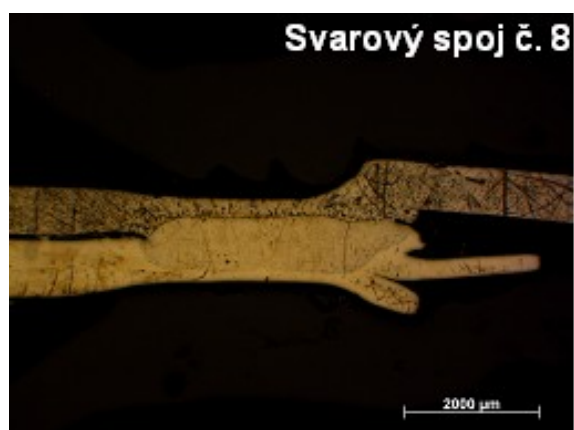
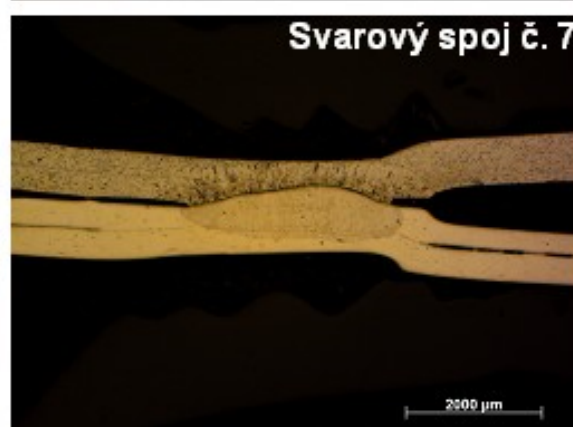
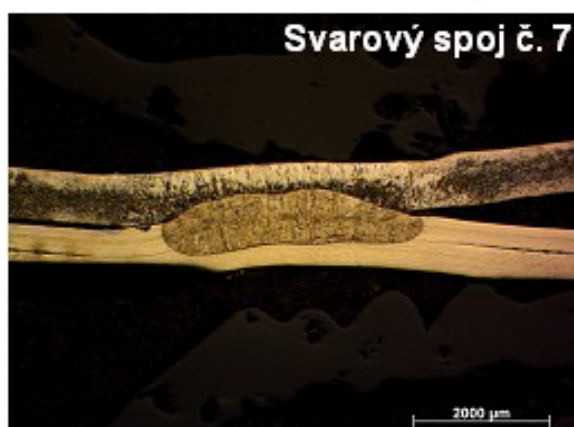
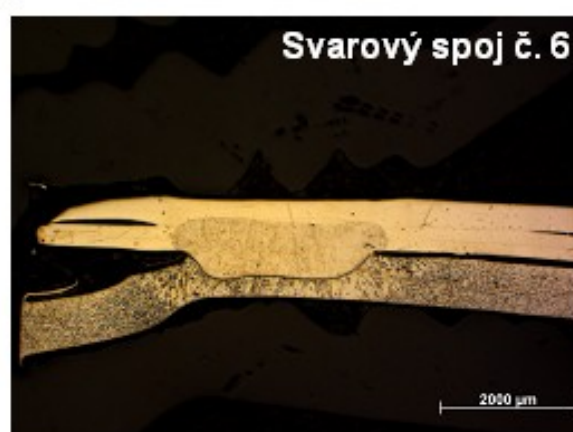
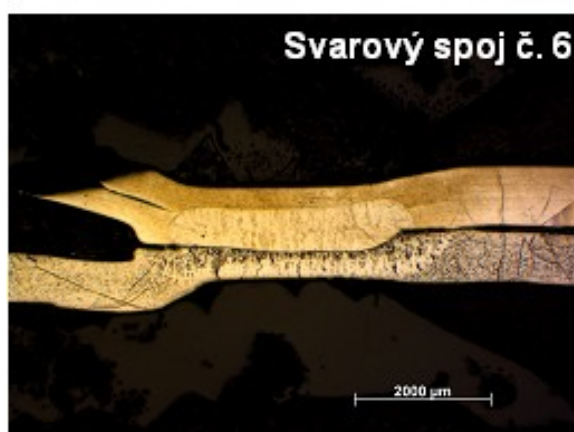
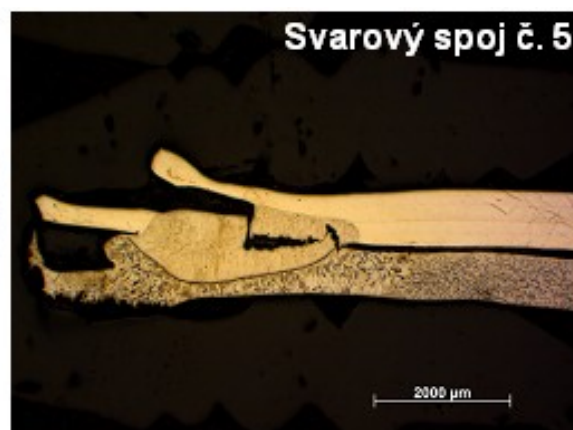
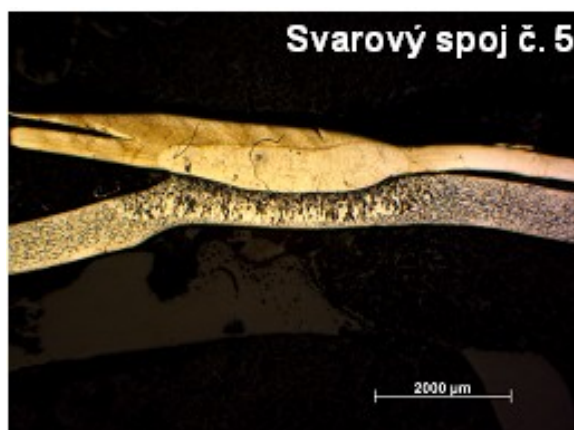
Hodnocení bylo provedeno následovně

- hodnoty vtisku elektrod před řezem vzorku ze strany pozinkovaného a austenitického plechu
- odměřené hodnoty z makrostruktury vzorků
- posouzení vzhledu čocky, její případné vady
- mikrotvrdost svarového spoje
- klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520 - 2
- návrh na zlepšení

V tabulkách 3.7 až 3.10 je provedeno hodnocení průměru vtisku před řezem ze strany pozinkovaného a austenitického plechu a mikrotvrdosti svarových spojů. Na obr. 3.13 jsou znázorněny makrostruktury vzorků svařenými novými svařovacími parametry, novými materiály a geometrií elektrod. Na obr. 3.14 a 3.15 jsou zobrazeny hodnoty mikrotvrdostí svarových spojů metodou podle Vickerse.









Obr. 3.13 Makrostruktura svarových spojů po seřízení

Pro zobrazené snímky makrostruktury svarových spojů bylo provedeno zhodnocení jako u předchozích snímků, které byly hodnoceny s původními svařovacími parametry.

Tab. 3.7 Hodnocení průměru vtisku elektrody před řezem – pozinkovaný plech

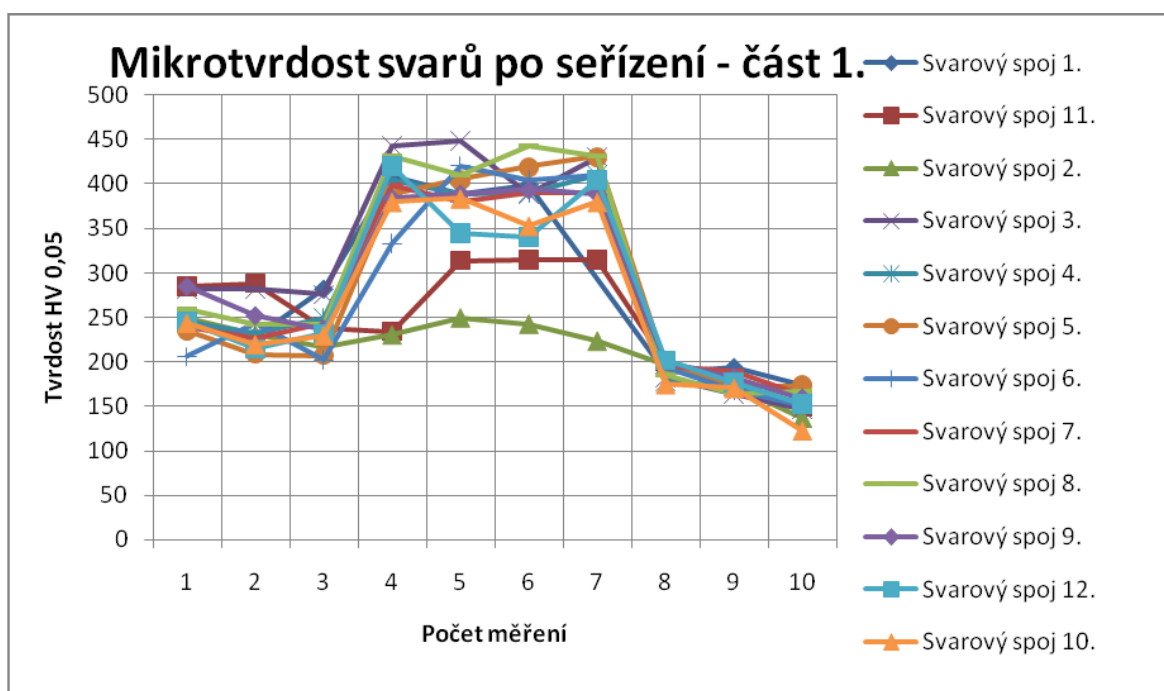
Označení bodu	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Arit. průměr [mm]
1.	3,54/4,33	4,07/4,54	4,78/4,7	4,326
11.	4,69/4,05	4,51/4,34	4,58/4,85	4,503
2.	4,94/3,59	4,62/3,73	4,14/3,71	4,122
3.	4,59/3,84	4,09/4,56	4,46/4,27	4,302
4.	3,87/3,72	3,59/4,36	4,68/4,51	4,122
5.	3,86/4,53	4,26/4,11	4,36/3,96	4,18
6.	4,86/4,06	4,08/4,61	4,66/4,89	4,527
7.	4,2/4,68	3,75/4,04	4,85/4,27	4,298
8.	4,63/4,75	4,29/4,61	3,85/4,15	4,38
9.	4,89/4,63	4,78/4,15	4,68/3,71	4,473
12.	4,32/4,75	4,36/4,25	4,17/4,3	4,358
10.	4,58/4,59	4,62/4,68	4,24/4,37	4,513

Tab. 3.8 Hodnocení průměru vtisku elektrody před řezem – austenitický plech

Označení bodu	Měření 1 [mm]	Měření 2 [mm]	Měření 3 [mm]	Arit. průměr [mm]
1.	3,68/4,14	4,32/4,45	3,89/3,76	4,04
11.	4,29/4,48	4,30/4,31	4,48/4,21	4,345
2.	3,89/4,52	3,79/4,32	4,29/4,32	4,188
3.	4,38/4,47	4,48/4,16	4,37/4,22	4,347
4.	3,54/3,69	4,46/4,31	4,53/4,11	4,107
5.	4,12/4,44	4,56/4,24	4,38/4,17	4,302
6.	4,29/4,38	4,38/4,36	4,29/4,36	4,343
7.	3,99/4,09	4,27/4,32	4,15/4,20	4,17
8.	4,26/4,25	4,35/4,43	4,31/4,43	4,338
9.	4,45/4,31	4,05/4,32	4,51/4,42	4,343
12.	4,25/4,36	4,26/4,16	4,35/4,16	4,256
10.	4,35/4,42	4,15/4,43	4,35/4,43	4,355

Tab. 3.9 Hodnocení mikrotvrdosti svarových spojů po seřízení - část 1.

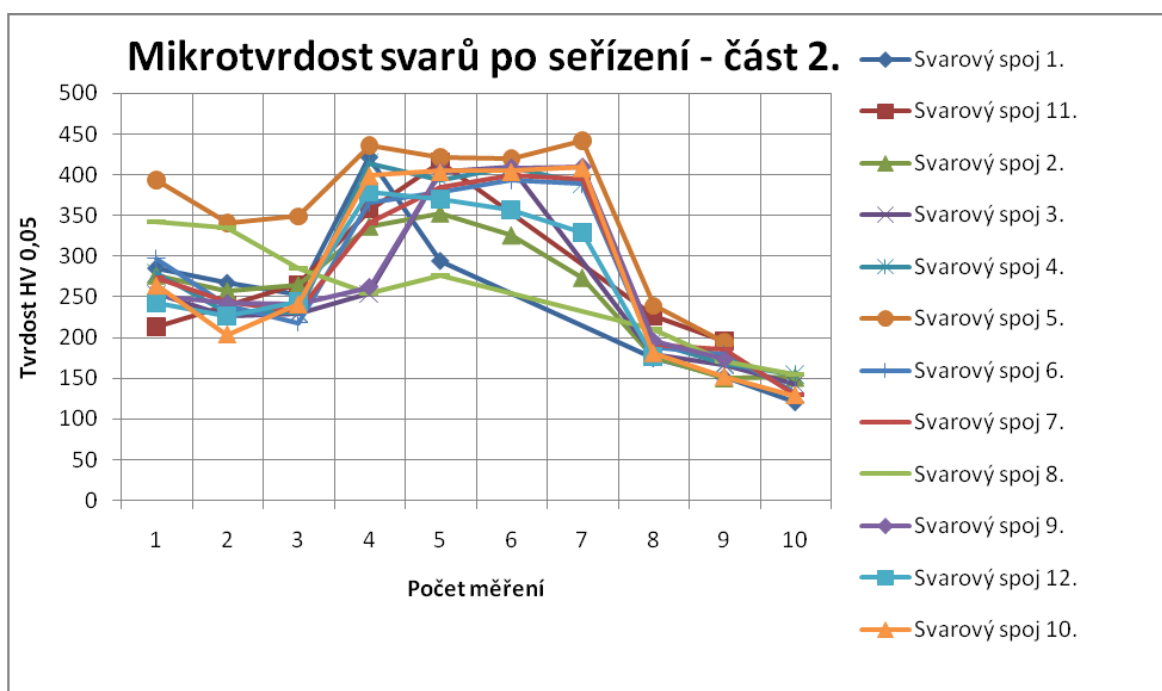
Ozn. svaru	Měření 1 [HV 0,05]	Měření 2 [HV 0,05]	Měření 3 [HV 0,05]	Měření 4 [HV 0,05]	Měření 5 [HV 0,05]	Měření 6 [HV 0,05]	Měření 7 [HV 0,05]	Měření 8 [HV 0,05]	Měření 9 [HV 0,05]	Měření 10 [HV 0,05]
1.	246	228	282	409	389	399	-	188	194	174
11.	285	288	239	234	314	315	315	200	175	149
2.	249	230	217	230	249	242	223	197	172	137
3.	282	282	276	44	449	389	431	182	164	147
4.	244	232	249	405	389	390	410	177	172	152
5.	235	209	207	389	405	419	431	197	173	173
6.	206	244	202	333	420	404	410	193	168	151
7.	239	226	244	399	380	390	390	195	189	162
8.	259	242	242	431	410	443	431	185	164	167
9.	285	252	237	384	389	394	389	200	183	159
12.	246	215	232	420	345	340	404	202	177	153
10.	244	220	230	380	384	353	380	175	171	123



Obr. 3.14 Graf mikrotvrdosti svarových spojů po seřizením – část 1.

Tab. 3.10 Hodnocení mikrotvrdosti svarových spojů po seřízení - část 2.

Ozn. svaru	Měření 1 [HV 0,05]	Měření 2 [HV 0,05]	Měření 3 [HV 0,05]	Měření 4 [HV 0,05]	Měření 5 [HV 0,05]	Měření 6 [HV 0,05]	Měření 7 [HV 0,05]	Měření 8 [HV 0,05]	Měření 9 [HV 0,05]	Měření 10 [HV 0,05]
1.	285	267	252	421	294	-	-	175	151	121
11.	213	239	265	357	415	-	-	226	195	-
2.	276	257	264	336	352	325	273	177	150	151
3.	254	226	230	254	404	410	-	179	167	143
4.	279	231	231	414	394	410	389	195	168	155
5.	393	341	349	436	421	420	442	239	194	-
6.	297	239	218	366	379	394	389	188	179	132
7.	273	244	232	341	384	399	394	191	186	130
8.	342	334	285	254	276	-	-	211	171	155
9.	251	242	241	262	404	409	410	195	173	-
12.	242	226	244	379	370	357	329	176	-	-
10.	264	204	241	399	404	404	409	181	152	129



Obr. 3.15 Graf mikrotvrdosti svarových spojů po seřizení - část 2.

Pro lepší přehlednost byly vyobrazené svary rozděleny do jednotlivých skupin (tab. 3.11). Následně se pro uvedené skupiny provedlo hodnocení kvality.

Tab. 3.11 Rozdělení svarů podle vzhledu

Označení svaru	Název skupiny
1, 11, 10	Dlouhá čočka
6, 7, 8	Nesymetrická svar
5, 4, 12	Velká čočka
2, 3, 9	Malá čočka

Dlouhá čočka

U těchto typů spojů (svarové spoje 1, 11, 10) byly zachyceny příliš dlouhé svarové čočky, které jsou v některých případech nesymetrické. Provedením hodnocení průměrů vtisků z tabulky 3.8 a 3.9 byly upozorovány, nepřiliš velké hodnoty průměrů, které měly za následek nadměrný nános zinku na elektrodách. Rádiusová elektroda byla zvolena proto, z důvodu lepšího úniku zinku při počátečním natavení.

Tab. 3.12 Hodnoty řezu svarových spojů č. 1, 11, 10

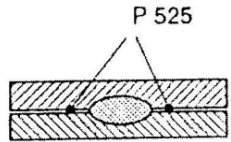
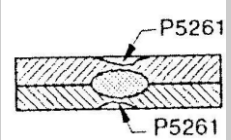
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čočky [μm]	Délka čočky [mm]
1.	1,040[mm]/508,8	823,9/407,9	394,7/147,4 272,4	2,9869/3,825
11.	180,5/88,6	604,5/531,8	345,6/302,1 567,8	4911,1/2,870
10.	200,2/252,7	361,1/164,4	577,9/ 604,0/473,4	3,710/4,494

Posouzením hodnot odměřených na makrostruktuře jednotlivých vzorků (tab. 3.12) jsou zřejmé nízké hodnoty vtisků elektrod. Zaměřením na zobrazené spoje a jejich vtisky je možné odhalit při srovnání s původními parametry značné zlepšení. Strana pozinkovaného plechu stále vykazuje hlubší vtisk.

Mikrotvrdot vzniklých spojů nevykazuje žádné nadměrné vychýlení. Mikrotvrdot austenitického plechu se ve všech případech pohybuje kolem hodnoty 240 HV 0,05, přes čočku dosahuje hodnot 390 HV 0,05 a v pozinkovaném plechu 175 HV 0,05.

V tabulce 3.13 jsou uvedeny vyskytující se vady svarových spojů č. 1, 11, 10 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 3.13 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeniny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	

Jako návrh na zlepšení provedeného spoje bude doporučeno zvážit geometrii elektrod, které na straně pozinkovaného plechu způsobují hlubší vtisky. Stále se v některých případech objevuje nadměrné rozevření plechů, které může být příčinou velké délky čochy.

Nesymetrický svar

Provedením hodnocení uvedených svarů (svarové spoje 6, 7, 8) z hlediska průměru vtisku elektrody ze strany pozinkovaného i austenitického plechu nebyly zpozorovány výraznější rozdíly. Při svařování nebyl vytvořen nános zinkové vrstvy na povrchu elektrody ze základního materiálu. Tím se na elektrodě nezačala zvětšovat plocha dotyku se základním materiálem, která při zvětšení způsobovala zkrácení její životnosti.

Tab. 3.14 Hodnoty řezu svarových spojů 6, 7, 8

Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čochy [μm]	Délka čochy [mm]
6.	269,2/108,3	499,0/505,5	624,2/ 910,2/814,8	3,627/3,176
7.	298,7/252,4	308,6/101,8	770,6/745,3	3,324/3,838
8.	164,1/-	525,2/-	788,2/-	3,964/3258

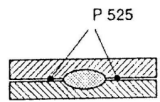
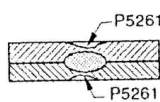
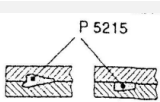
V případě svarových spojů č. 6 – 8 byly zachyceny velké vtisky elektrod z obou stran vzorku (tab. 3.14). To mohlo být následkem nadměrně rozevřených plechů, u kterých bylo rozevření v porovnání s předchozími spoji větší.

U těchto spojů je zvláštní jejich nepravidelný tvar, to může být následkem nadměrně velké hodnoty svařovacího proudu, který ve spojení se špatnou dráhou elektrody může být následkem nesymetrického tvaru čochy.

Hodnocením mikrotvrdosti svarových spojů nebyly prokázány odchylky od hodnot mikrotvrdosti. Jen u svarového spoje č. 8 u druhého vzorku nedošlo k vytvoření čochy dostatečné mikrotvrdosti. Hodnoty mikrotvrdosti v oblasti čochy dosahovaly 276 HV 0,05.

V tabulce 3.15 jsou uvedeny vady vyskytující se na svarových spojkách č. 6, 7, 8 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 3.15 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřipustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeniny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	
P 5215	asymetrická čochka nebo výronek - asymetrie tvaru a/nebo umístění čochy nebo výronku	

Jako návrh na zlepšení provedených spojů bude doporučeno zaměřit se na geometrii elektrod a jejich materiál. Dále u těchto spojů zvolit nižší hodnotu proudu, která by při nadměrném vtisku nezpůsobila nesymetrický tvar.

Velká čochka

Hodnocením uvedených svarových spojů (svarové spoje 4, 5, 12) z hlediska průměrů vtisků elektrod ze strany pozinkovaného i austenitického plechu nebude vykazovat rozdílných hodnot, jako tomu bylo při původním nastavení. To má za následek neulpívání zinku na elektrodách.

V tabulce 3.16 jsou uvedeny hodnoty odměřené z makrostruktury svarových spojů č. 4, 5, 12.

Tab. 3.16 Hodnoty řezu svarových spojů 4, 5, 12

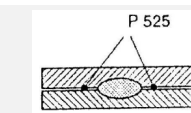
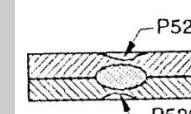
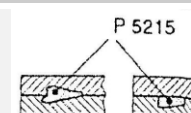
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čochy [μm]	Délka čochy [mm]
4.	289,0/-	23,4/604,3	752,5/ 932,4/669,7	3,013/3,287
5.	273,9/-	54,3/433,4	1,094 [mm]/705,7 650,0	3,355/3,681
12.	136,1/-	389,6/-	496,3/463,2 684,6	3,075/2,869

Posouzením snímků této skupiny spojů byly zpozorovány hlubší vtisky elektrod do základních materiálů. To mohlo být důsledkem nadměrně rozevřených plechů. U svarového spoje č. 12 byla zachycena zvláštní struktura svarové čochy, která zřejmě byla důsledkem nedostatečného natavení základních materiálů, proto tmavé skvrny znázorňují nenatavený pozinkovaný plech.

Hodnocením mikrotvrdosti svarových spojů se neobjevují nijak vysoké odchylky od hodnot mikrotvrdosti. Všechny spoje této skupiny prokazují mikrotvrdost čochy kolem 380HV 0,05.

Tabulka 3.17 uvádí vady vyskytující se na svarových spojkách č. 4, 5, 12 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 3.17 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřípustně velká	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeniny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	
P 5215	asymetrická čochka nebo výronek - asymetrie tvaru a/nebo umístění čochy nebo výronku	

Jako návrh na zlepšení provedených spojů bude navrženo zaměřit se na vhodnější geometrii elektrod a případně i jejich materiál. Dále u těchto spojů zvolit nižší hodnotu proudu, která by při nadměrném vtisku nezpůsobila nesymetrický tvar čočky. Ze strany pozinkovaného plechu bude nutno zvolit nižší tlak elektrod.

Malá čočka

Klasifikací svarových spojů této skupiny (svarové spoje 2, 3, 9) z pohledu hodnot průměrů vtisku elektrod ze strany pozinkovaného a austenitického plechu nebyly upozorovány žádné nesrovnalosti. To má za následek rádiusový tvar elektrod. Rádiusový tvar elektrody zaručuje neulpívání zinku na dotykové ploše elektrody. U původní rovinné elektrody docházelo k ulpívání a zkracování její životnosti.

V tabulce 3.18 jsou uvedeny hodnoty odměřené z makrostruktury svarových spojů č. 2, 3, 9.

Tab. 3.18 Hodnoty řezu svarových spojů 2, 5, 9

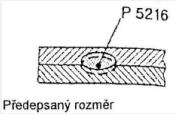
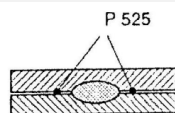
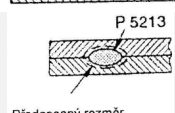
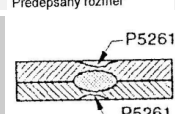
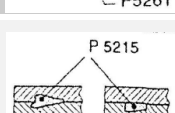
Ozn. bodu	Hloubka vtisku austenit [μm]	Hloubka vtisku pozin. plech [μm]	Výška čočky [μm]	Délka čočky [mm]
2.	-/607,2	-/536,2	779,9/354,6	2,357/3,068
3.	-	840,3/-	453,0/660,7	2,344/2,360
9.	147,7/-	125,1/-	598,0 868,0/607,2	2,616/3,483

Provedením hodnocení samotných snímků byly zachyceny u svarových spojů příliš malé čočky, které jen nepatrně zasahují do druhého z austenitických plechů. To může mít za následek příliš nízká doba stisku elektrod, která nestačila k dostatečnému natavení základních materiálů. Hodnoty odměřené na makrostruktuře jen potvrzují tuhle skutečnost. V porovnání s ostatními bodovými svary je svarová čočka příliš malá.

Z hlediska mikrotvrdosti svarových spojů nebudou svarové spoje vykazovat žádné velké odlišnosti. Jen u svarového spoje č. 2, kde i na snímku je vidět poněkud delší čočka, budou její hodnoty mikrotvrdosti v porovnání s ostatními nízké a to kolem 240 HV 0,05.

Tabulka 3.19 uvádí zjištěné vady na svarových spojkách č. 2, 3, 9 podle normy ČSN EN ISO 6520-2.

Tab. 3.19 Klasifikace podle normy ČSN EN ISO 6520-2 [15]

Ref. číslo	Označení a vysvětlení	Zobrazení vady
P 5216	nedostatečný průvar čocky - hloubka průvaru čocky měřená od roviny spoje je v jednom ze spojovaných dílů nedostatečná	
P 525	nadměrné rozevření plechů - spára mezi svařovanými díly je nepřípustně velká	
P 5213	průměr čocky je příliš malý - průměr čocky je menší, než je požadováno	
P 5261	vtisky na povrchu materiálu - místní prohlubeniny povrchu svařovaného dílu v oblasti vtisku elektrody	
P 5215	asymetrická čocka nebo výronek - asymetrie tvaru a/nebo umístění čocky nebo výronku	

Jako návrh na zlepšení provedeného spoje bude doporučeno zaměřit se na vhodnější geometrii elektrod a jejich materiál. Možná by stálo za zvážení prodloužit čas stisku elektrod, aby došlo k vytvoření větší svarové čocky.

3.7 Hodnocení dosažených výsledků po seřízení

Analýzou svarových spojů po seřízení bylo provedeno vyhodnocení kvality svarových spojů pro schválení procesu svařování (tab. 3.20). Nutno připomenout, že se jedná pouze o montážní svarové spoje, které se hodnotí jako vyhovující v případech, kdy spoje vydrží zatížení destruktivní zkoušky.

Tab. 3.20 Analýza svarových spojů pro schválení procesu svařování po seřízení

Hodnocení svarových spojů	Označení svarových spojů
Vyhovující svarové spoje	1, 11, 2, 3, 4, 5a, 6, 7, 8, 9, 12, 10
Nevyhovující svarové spoje	5b

Na základě nevyhovujících bodových svarů bylo prováděno celkové seřízení svařovacího zařízení, kde úkolem bylo dosáhnout především stability procesu svařování.

Druhým důvodem provedení seřízení byla minimalizace používání destruktivní zkoušky ze svařových spojů, které byly prováděny k ověření podmínek svaření při výměně svařovacích elektrod. Zkoušky byly zapotřebí každé dvě hodiny provozu, kdy docházelo k výměně opotřebených elektrod za nové. Tímto vznikaly vysoké náklady na šrotaci svařenců.

U původních podmínek svařování byla nevhodně zvolená geometrie a materiál svařovacích elektrod, kdy docházelo k nadměrnému ulpívání zinkového povlaku na plochy elektrody. Tímto bylo zvyšováno opotřebení elektrod a na svařových spojkách se to projevovalo tím, že byly vytvořeny ne svařové ale pouze difuzní spoje. Proto bylo zapotřebí zvolit vhodnější geometrie a materiály elektrod, které byly přímo od výrobce doporučeny pro tento typ spojovaného materiálu. Geometrie obou výměnných elektrod byla vybrána rádiusová z materiálů WIRBALIT HF (horní elektroda) a WIRBALIT B (spodní elektroda). Rádiusová geometrie elektrody zaručuje lepší odvod zinku ze spoje a nezpůsobuje tak její nadměrné opotřebení. Velkým pokrokem bylo vytvoření kvalitních svařových čochek místo difuzního spoje, jak bylo zřejmé ze snímků. Z pohledu životnosti elektrod nedošlo k prodloužení a elektrody vydržely svařovat jako původní 2 hodiny. Nově byla zvolená i dráha elektrod, kde u původní geometrie bylo velké riziko kolize spodní elektrody se svařencem. Obě elektrody byly posunuty o 5 mm od původní dráhy směrem od svařence.

U svařovacích parametrů byly provedeny pouze malé změny oproti původním parametrům se snížil tlak z původní hodnoty 0,38 MPa na 0,25 MPa. Vysoký tlak měl za následek nadměrnou hloubku vtisku elektrod do materiálu.

Na základě vyhodnocených vzorků po výměně elektrod bylo navrženo neprovádět ověřování parametrů na svařenci ale na vzorku, který odpovídá provedení svaru, tím došlo k omezení zkoušek na svařenci.

4 Návrh optimalizace procesu svařování a jeho ekonomika

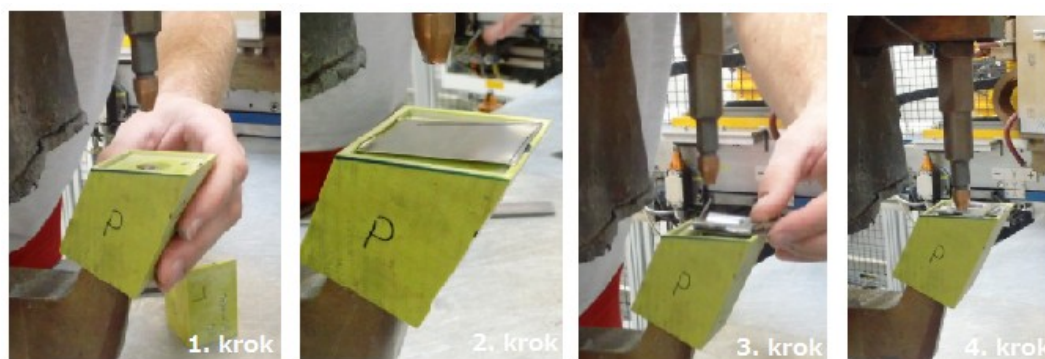
Hlavním cílem této práce bylo odstranit z tohoto procesu svařování destruktivní zkoušky, které se prováděly z důvodu ověřování svařovacích parametrů po výměně opotřeбенých svařovacích elektrod za nové. Prováděním destruktivních zkoušek vznikaly příliš vysoké náklady při šrotování materiálů, z důvodu zničení celého svařence. Aby se tomuto zabránilo, bylo doporučeno místo destruktivních zkoušek provádět nedestruktivní zkoušku svařence. Kvalita svarových spojů bude zjišťována pomocí odlupovacích zkoušek, u kterých není zapotřebí celý svařenec.

U původních svařovacích podmínek byla zvolena nevhodná geometrie elektrod, která měla za následek nekvalitní svarové spoje. Proto bylo zapotřebí odzkoušet novou geometrii elektrod pro dosažení kvalitního svarového spoje. Jako nová geometrie byla zvolena rádiusová, která bude lépe odvádět zinek z povrchu materiálu a nebude způsobovat jeho ulpívání na povrchu elektrod, kde způsoboval zvětšení její plochy a tím i nekvalitní svary. Spodní elektroda byla navržena se speciálním rádiusovým tvarem. Materiály elektrod byly zvoleny WIRBALIT HF (horní elektroda) a WIRBALIT B (spodní elektroda), které jsou určeny přímo pro tento typ základních materiálů. Volba elektrod ještě není definitivní z důvodu nákladné výroby spodní elektrody, bude se tedy nadále hledat možný vhodnější tvar výměnných elektrod.

4.1 Nedestruktivní ověřování kvality svarových spojů

Pro zabezpečení kvality se doposud prováděly na svarových spojkách destruktivní zkoušky, které plně neodpovídaly požadavkům výroby, což vedlo ke zvyšování nákladů na jakost. Na základě výsledků vyhodnocených vzorků po výměně svařovacích elektrod bylo navrženo neprovádět ověřování parametrů na finálním svařenci, ale na vzorku, který odpovídá provedení svaru.

Při této metodě ověřování parametrů je nutné upravit program svářeček tak, aby bylo možné provádět jednotlivý svar pouze na vzorku, pro uložení vzorků je nutné vyrobit podpěrný přípravek. Tento přípravek (obr. 4.1) bude nasazován na spodní elektrodu a maximální rozměr plechů nesmí překročit 40 x 40 mm.

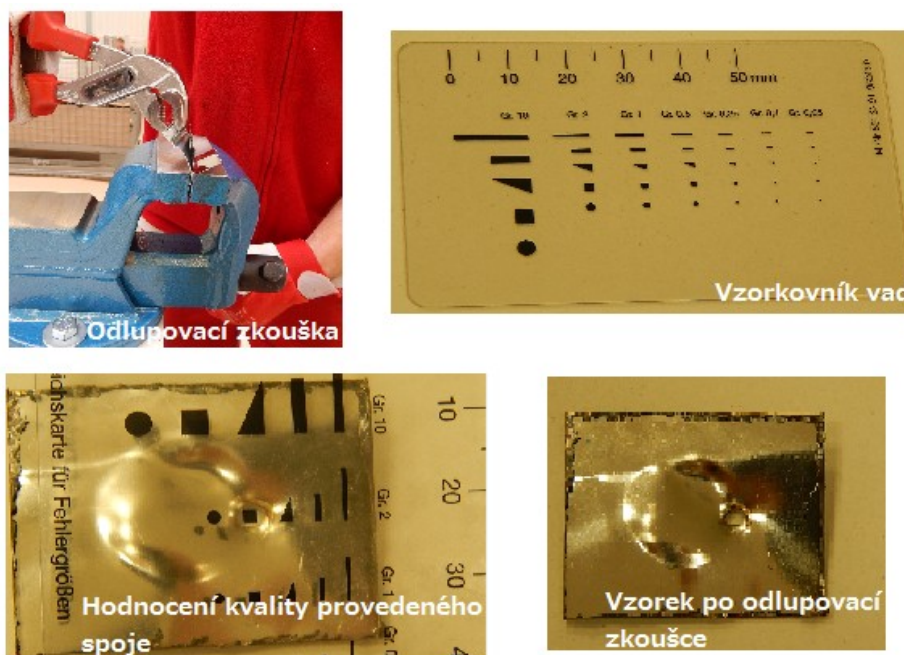


Obr. 4.1 Tvar podpěrného přípravku a postup zhotovení bodového svaru pro odlupovací zkoušku

Vzorky svarů se budou zhotovovat vždy při výměně opotřeбенých svařovacích elektrod, jako se doposud provádělo ověření destruktivní zkouškou celého svařence. Dále se mohou vzorky provádět kdykoliv v průběhu svařování pro ověření, zda proces probíhá správně.

Přípravek pro podporu vzorků bude vyhotoven pro obě strany zařízení. Vyvrtaným otvorem uprostřed přípravku se provleče elektroda, jak můžeme vidět na obrázku (obr. 4.1) v prvním kroku. Následně se budou pokládat plechy ve správném pořadí, kdy nejprve se položí austenitický plech a na něj pozinkovaný. Jakmile budou plechy na sobě, obsluha zvolí příslušný program, kterým provede svar. Tímto postupem budou zhotoveny vzorky potřebné pro provedení odlupovací zkoušky.

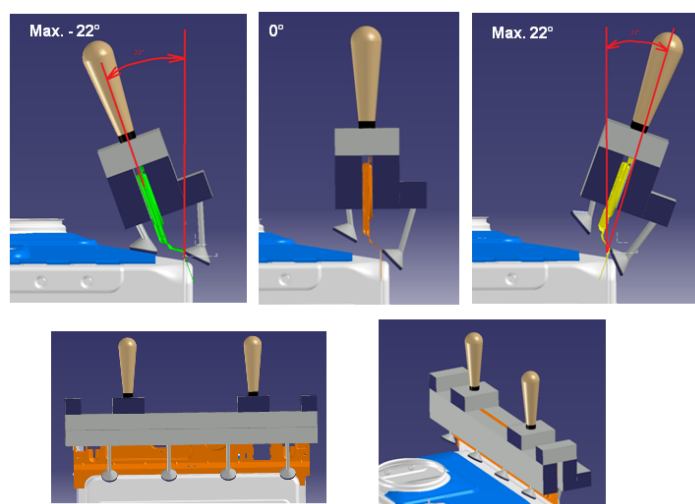
Odlupovací zkouškou se zjistí, zda vytvořený svarový spoj odpovídá požadavkům na kvalitu. Pracovník obsluhy upne zhotovený vzorek do svěráku (obr. 4.2) a pomocí kleští jeden z plechů odloupne. Následně pomocí vzorkovníku vad (obr. 4.2) bude stanovovat, zda vytržení jádra čočky odpovídá předem určenému rozměru. S ohledem na průměr svařovaných elektrod, tloušťce plechů a předpokládaným zatížením další montáží bylo doporučeno zvolit rozměr minimálního vytržení 2 x 2 mm.



Obr. 4.2 Odlupovací zkouška a hodnocení kvality provedeného spoje pomocí vzorníku vad

Jelikož se na celém svařenci nachází ještě jeden typ svarových spojů, u kterých je nutná destruktivní zkouška a to pouze 1x za den, provede se v rámci této zkoušky i otestování 12 bodových svarů. Jelikož původní destruktivní zkouška neodpovídala požadavkům výroby, bude doporučeno použít přípravek (obr. 4.3), který bude plně vyhovovat následné manipulaci se svařencem.

Přípravek bude sloužit pro naklápění pozinkovaného plechu pouze v rozsahu, v jakém s ním bude při další montáži zacházeno. Zvolený úhel je pro naklápění pozinkovaného plechu na každou stranu 22° .



Obr. 4.3 Přípravek pro destruktivní zkoušku a jeho použití

4.2 Možná druhá varianta geometrie elektrod

Kvalita provedeného spoje po seřízení má lepší vlastnosti v porovnání s původními svařovacími podmínkami.

Zvolená geometrie nemusí být ovšem definitivní. Velkou šanci na zavedení má i mnohem jednodušší geometrie (obr. 4.4), která by nebyla tak náročná na úpravu jako rádiusová. Úpravou je myšleno zkosení spodní elektrody z důvodu složitější dráhy k místu svaření a z možné kolize se svařencem. Jako možná další varianta jsou elektrody od dodavatele Luvata a sice A – Trode a Z – Trode. V tabulkách 4.1 – 4.4 je uvedeno označení elektrody A - Trode, chemické složení, fyzikální vlastnosti a specifikace materiálu. Na obr. 4.5 je znázorněna závislost tvrdosti na teplotě materiálu elektrody.



Obr. 4.4 Možné budoucí svařovací elektrody pro odporové svařování od firmy Luvata [17]

Horní elektroda A - Trode

Tab. 4.1 Označení výměnné horní elektrody A – Trode [17]

Slitina	EN ISO 5182	Wn	DIN
CuCrZr	A2/2	2.1293	17666

Tab. 4.2 Chemické složení horní elektrody A – Trode [17]

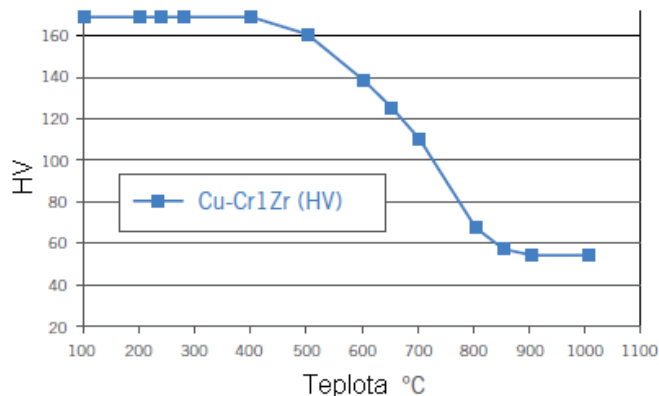
Název prvku	Cr	Zr	Cu	Ostatní
Obsah [%]	0,7 – 1,2	0,06 – 0,15	zbytkový	max.0,2

Tab. 4.3 Fyzikální vlastnosti při 20°C horní elektrody A – Trode [17]

Hmotnost [g/cm ³]	Měrné teplo [J/kg.K]	Tepelná vodivost [W/m.K]	Tažnost (20 – 300°C) [m/m.K]	Elektrická vodivost [S/m]	Teplota měknutí [°C]
8,9	0,376	320	17,00 x10 ⁻⁶	min. 43	min. 500

Tab. 4.4 Specifikace – kvality horní elektrody A – Trode [17]

Pevnost v tahu [N/mm ²]	Prodloužení [%]	Tvrdost HV
≥490	≥15	≥172



Obr. 4.5 Elektroda A – Trode, závislost tvrdosti na teplotě [17]

Spodní elektroda Z - Trode

Spodní elektroda Z – Trode by musela být upravena z důvodu horší přístupnosti ke svařovanému bodu.

Rozstřík

Z – Trode je elektroda určená pro redukci rozstříku. Snižuje nebo dokonce odstraňuje svarový rozstřík, snižuje nároky na údržbu, ochranný oděv a zvyšuje produktivitu. Také zvyšuje kvalitu svaru a snižuje energetické náklady až o 10%. [18]

Zabraňuje ulpívání

Lepení elektrod k základnímu materiálu je nevyhnutelné při svařování pozinkované oceli obvyklými elektrodami. Chrom v běžné elektrodě nebrání, aby zinek legoval do měděné elektrody a vytvářel tak na povrchu mosazný intermetalický povrch, který zmenšuje velikost a zhoršuje kvalitu svaru. Z – Trode je slitina čistého zirkonu a kyslíku bez mědi. Přítomný zirkon minimalizuje legující účinek na povrchu elektrody a zabraňuje tak přilepení. To zvyšuje produktivitu. [18]

Odolává opotřebení

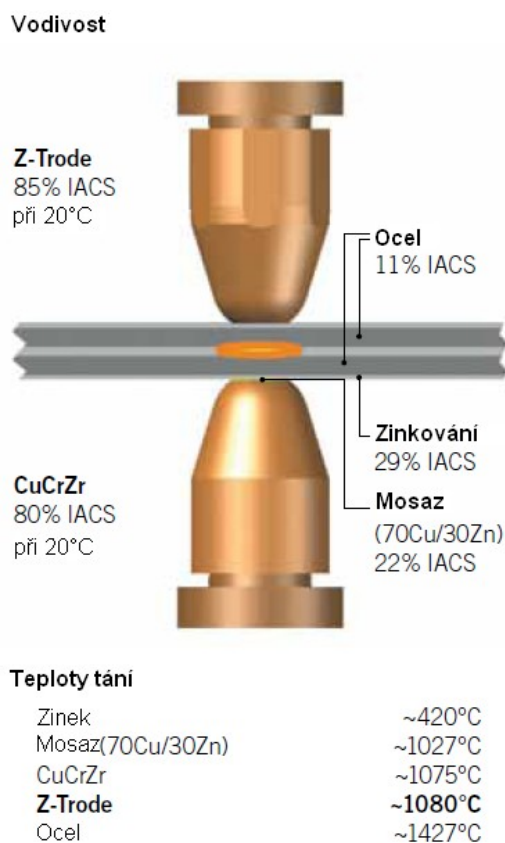
Ve srovnání s CuCrZr a CuCr slitin zirkonu a mědi odolává opotřebení díky své dobré vodivosti. Z – Trode díky své vodivosti nepotřebuje pro vytvoření svaru vysoké hodnoty tepla, což výrazně zlepšuje odolnost proti opotřebení (opalování elektrod). [18]

Vyžaduje méně energie

Ve srovnání s CuCrZr a CuCr slitin, Z – Trode vyžaduje menší proud vzhledem k jeho vyšší elektrické vodivosti (obr. 4.6), používá-li se na obou stranách svařence. To má za následek delší životnost elektrody, více kvalitních svarů a úspory energie. Svářeč může snížit aktuální nastavení až o 20 % oproti běžným elektrodám CuCrZr a CuCr, bez ztráty integrity svaru. [18]

Snižuje prostoje

Celková údržba Z – Trode elektrody je mnohem menší než u běžných elektrod, dále zvyšuje svařovací proces a výrobní efektivitu. [18]



Obr. 4.6 Vodivost elektrody Z – Trode [18]

4.3 Měření a kontrola přístroje

Pro kontrolu stability procesu bylo doporučeno zařízení (obr. 4.7), pomocí kterého je možné kontrolovat parametry odporového svařování. Pomocí tohoto přístroje je možné kontrolovat proud svaření a přítlak elektrod.



Obr.4.7 Kontrola nastavené síly na elektrodách přístrojem TE1600

4.4 Ekonomické zhodnocení

Cílem této práce bylo odstranit destruktivní zkoušky, které sloužily pro ověření svařovacích parametrů při výměně opotřebovaných elektrod. Odstraněním destruktivních zkoušek se snížil čas nevyužití výrobní linky.

4.4.1 Ekonomické zhodnocení před provedením seřízení

Před seřízením se destruktivní zkoušky prováděly každé 2 hodiny při výměně opotřebovaných elektrod. Svařovací zařízení pro odporové svařování pracuje na dvě směny. Jeden svařenec, který se zničí destruktivní zkouškou, stojí 61 Eur. Čas, po který linka stojí a čeká na schválení parametrů, činí 40 min za den. Jedna destruktivní zkouška trvá 5 min.

Roční ztráta vlivem destruktivních zkoušek:

Cena 1 svařence x počet provedených destruktivních zkoušek za den x počet odpracovaných dní v roce = roční ztráta vlivem destruktivní zkoušky (4.1)

$$61 \cdot 8 \cdot 232 = 113216 \text{ Eur za rok}$$

Roční čas prostoje výrobní linky:

Čas prostoje výrobní linky za den x počet odpracovaných dní v roce = roční prostoj výrobní linky vlivem destruktivní zkoušky (4.2)

$$40 \cdot 232 = 9280 \text{ min} = 155 \text{ hodin za rok}$$

4.4.2 Ekonomické zhodnocení po seřízení

Po provedení seřízení a odstranění destruktivní zkoušky se provádí ověření kvality odlupovací zkouškou každé 2 hodiny při výměně opotřeбенých elektrod. Svařovací zařízení pro odporové svařování pracuje stále na dvě směny a cena svařence zůstává stejná 61 Eur. Čas, po který linka stojí a čeká na schválení parametrů, činí 5 min za den. Po tuto dobu je prováděna destruktivní zkouška, která musí být prováděna pro jiný svarový spoj.

Roční ztráta po seřízení vlivem destruktivní zkoušky:

Cena 1 svařence x počet provedených destruktivních zkoušek za den x počet odpracovaných dní v roce = roční ztráta vlivem destruktivní zkoušky (4.3)

$$61 \cdot 1 \cdot 232 = 14152 \text{ Eur za rok}$$

Roční čas prostoje výrobní linky po provedení seřízení:

Čas prostoje výrobní linky za den x počet odpracovaných dní v roce = roční prostoj výrobní linky vlivem destruktivní zkoušky (4.4)

$$5 \cdot 232 = 1160 \text{ min} = 20 \text{ hodin za rok}$$

Zhodnocením ekonomického propočtu je zřejmé, že zásahem do procesu se značně ušetřily ztráty vlivem původních destruktivních zkoušek. Ztráty vlivem provádění destruktivních zkoušek na svařenci činily 113 216 Eur ročně a po seřízení jsou ztráty vlivem omezení destruktivních zkoušek prováděné pouze jednou denně 14 152 Eur ročně. Čas, po který je linka v nečinnosti se také výrazně snížil a to z původních 155 hodin za rok na 20 hodin za rok.

Zásahem a seřízením svařovacího zařízení se zkrátil čas prostoje výrobní linky.

Závěr

Diplomová práce se zabývala svařováním pozinkovaných a austenitických plechů v sériové výrobě. Hlavním úkolem této práce bylo optimalizovat parametry svařování a úpravu elektrod za účelem zhotovování vyhovujících svarových spojů. Dále bylo cílem nahradit destruktivní zkoušky, které se prováděly pro ověřování kvality na svařenci a vykazovaly vysoké náklady na likvidaci znehodnocených dílů zkouškami (šrotaci).

V první části práce je rozebrána problematika odporové bodové svařování, svařování pozinkovaného i austenitického plechu včetně možných návrhů na zlepšení kvality svarových spojů. Dále byly definovány možné vady bodových svarů a jejich eliminace.

V druhé části je rozebrána problematika procesu svařování, z hlediska nastavených svařovacích parametrů, tvaru elektrod a jejich materiálu, vzájemné polohy elektrod, provádění destruktivní zkoušky. Následovalo vyhodnocení svarových spojů svařených původními parametry. Hodnocením provedených spojů se odhalily vady svarových spojů. Hlavní důvod nevyhovujících svarů měla na svědomí nevhodně zvolená geometrie elektrod. Dalším problémem u svarových spojů byl nadměrný vtisk do obou základních materiálů, který má za následek vysoká přitlačná síla elektrod.

Třetí část práce se zabývá optimalizací procesu svařování. Hlavním problémem bylo při svařování původními parametry nevhodně zvolená geometrie a materiál elektrod. V této části byla odzkoušená nová geometrie a materiál rádiusových elektrod WIRBALIT HF a WIRBALIT B. Zvolená rádiusová geometrie u spodní elektrody by měla mít tu funkci, že nebude záležet až tak na její poloze nasazení, pokud nebude úplně vychýlená. U horní rádiusové elektrody se při tavení zinek lépe odváděl z dotykové plochy elektrody a neulpíval ve velkém množství na povrchu, jako tomu bylo u rovinné elektrody. Dalším krokem pro optimalizaci bylo snížení tlaku svařovacích elektrod, který se snížil z původních 0,38 MPa na 0,25 MPa. Po provedení přenastavení se odzkoušely nové podmínky na třech svařencích, ze kterých se provedlo hodnocení kvality. Optimalizace svařovacího procesu přinesla vyšší kvalitu svarové čochy a nepřiliš hluboké vtisky a především ušetření nákladů na šrotaci zařízení. Závěrem této části byl návrh zkoušení kvality svarových spojů nedestruktivní zkouškou. Pro zkoušení odporových svarových spojů byla navržena odlupovací zkouška na vzorcích, která značně snížila náklady na šrotaci hotových výrobků. Tímto opatřením současně klesly prostoje výrobní linky.

Čtvrtá část je věnována shrnutí provedené optimalizace, při které bylo nahrazeno zkoušení destruktivní zkouškou na výrobku za odlupovací zkoušku podle normy ČSN EN ISO 10 447 (Odporové svařování – Odlupovací a sekáčové zkoušení odporových bodových a výstupkových svarů) a ČSN EN ISO 14 329 (Odporové svařování – Destruktivní zkoušky svarů – Typy porušení a geometrická měření odporových bodových, švových a výstupkových svarů). Materiál pro tuto zkoušku bude odebrán z destruktivních zkoušek, které se doposud prováděly. Zavedením odlupovací zkoušky se dostavily velké úspory jak času prostoje výrobní linky, tak nákladů na likvidaci zkušebních vzorků. Dále byla zmíněná možná další varianta geometrie a materiálu svařovacích elektrod, které by mohly v budoucnu nahrazovat elektrody rádiusové.

Výsledky diplomové práce jsou již dnes aplikovány ve výrobě. Práce přinesla velké zlepšení v kvalitě svařovaných heterogenních spojů. Byly odstraněny nákladné destruktivní zkoušky a bylo aplikováno svařování s novou geometrií a materiálem výměnných elektrod. I když svařené spoje nevykazují dokonalý tvar svarové čočky, může v budoucnu dojít při stálém zvyšování kvality k dalším optimalizacím.

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat svému vedoucímu diplomové práce, panu doc. Ing. Ivu Hlavatému, Ph.D. z katedry mechanické technologie za jeho poskytnuté rady a odbornou pomoc při psaní této práce. Dále bych chtěla poděkovat pracovníkům Miele, s.r.o., za možnost spolupráce a především panu Ing. Vladimíru Stehlíkovi, za velmi dobrou spolupráci a poskytnutí potřebných informací.

Bc. Petra Hájková

Použitá literatura

- [1] ESAB VAMBERK, s.r.o., Vamberk: *Příručka svařování – Opravy a údržba*. 2008. 140 s. [online]. [cit. 20. prosince 2013]. Dostupné na WWW: <http://products.esab.com/ESABImages/opravy_renovace.pdf>.
- [2] PLÍVA, Ladislav. *Odporové svařování*. Praha: SNTL, 1975, 268 s.
- [3] KUBÍČEK, J., DANĚK, L., KANDUS B., *Technologie svařování a zařízení*. Plzeň: ŠKOLA WELDING, 2011, 242 s.
- [4] Středofrekvenční svařování. *Středofrekvenční svařování* [online]. [cit. 2013-12-18]. Dostupné na WWW: <http://www.designweld.cz/produkty/stredofrekvencni_svarovani.htm>.
- [5] ŽÁK, J., NOVÁK, M. *Teorie svařování*. Brno: Ediční středisko VUT Brno, 1988, 142 s.
- [6] AIR LIQUIDE SLOVAKIA s.r.o., Bratislava. *Praktické problémy pri zvaraní pozinkovaných plechov*. 2 s. [online]. [cit. 2013-10-4]. Dostupné na WWW: <http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/2009-1_Pozink.plech.pdf>.
- [7] Pozinkovaná ocel. *I.0355*. [online]. [cit. 2013-11-3]. Dostupné na WWW: <http://www.steelnumber.com/en/steel_composition_eu.php?name_id=599>.
- [8] Žárové zinkování. *Příručka žárového zinkování*. [online]. [cit. 2013-11-3]. Dostupné na WWW: <http://www.zinkoza.sk/prirucka_ziaroveho_zinkovania.pdf>.
- [9] Euro Inox. *Vlastnosti korozivzdorných ocelí*. Vyd. Euro Inox 2002, 28 s. ISBN 2-87997-082-2.
- [10] Euro Inox. *Svařování korozivzdorných ocelí*. Vyd. Euro Inox 2002, 28 s. ISBN 978-2-87997-177-3.
- [11] DIN EN 10346. *Kontinuierlich schmelztauchveredelte Flacherzeugnisse aus Stahl - Technische Lieferbedingungen*. Berlin: DIN, 2009.

- [12] AEG Schweiss-technik., Mülheim an der Ruhr. *Recommendations on use*. 4 s. [online]. [cit. 2013-02-3]. Dostupné na WWW: http://aeg-svs-<schweisstechnik.de/pages/semi-finished-materials/recommendations-on-use--properties.php?lang=EN&searchresult=1&sstring=Recommendations+on+use#wb_section_281>.
- [13] Prozesstechnik conntronic., Welden . *Návod k obsluze svařovacího zařízení*. 2008. 88 s.
- [14] Miele, s.r.o., Uničov. *Nastavování provozních parametrů*. 2013. 10 s.
- [15] ČSN EN ISO 6520 -2 , *Svařování a příbuzné procesy - Klasifikace geometrických vad kovových materiálů – Část 2: Tlakové svařování*, Praha: Český normalizační institut, duben 2003.
- [16] Miele, s.r.o., Uničov. *Komunikační software Pegasus*. 2006. 100 s.
- [17] Luvata, Essen. *A – Trode* 2013. 2s. [online]. [cit. 2013-11-3]. Dostupné na WWW: http://www.luvata.com/Documents/Special%20Products/Welding%20Products/A-Trode/A-Trode_A4_English.pdf.
- [18] Luvata, Essen. *Z – Trode*. 2013. 2 s. [online]. [cit. 2013-11-3]. Dostupné na WWW: http://www.luvata.com/Documents/Special%20Products/Welding%20Products/Z-Trode/Z-Trode_A4_English.pdf.
- [19] *Zásady pro vypracování diplomové (bakalářské) práce*, Garant dokumentu: 300 - Děkan, VŠB-TU Ostrava, Fakulta strojní, 2013, 16 s.
- [20] DIN EN 12 163. *Kupfer und Kupferlegierungen – Stangen zur allgemeinen Verwendung*. Berlin: DIN, 2011.
- [20] Blaščík, F., Pilárik, S., Žitňanský, M., Polák, K., *Technológia tvárnenia, zlievárenstva a zvarania*. Praha: Alfa, 1988, 832 s.